

Aproveitamento da água da chuva e energia solar em uma residência no município da Serra – ES

FÁBIO LOPES COSTALONGA E JOZIELI DONADIA COVRE / SERRA, 2009

Resumo

Este trabalho é sobre dois sistemas alternativos instalados em uma residência, que permitem racionalizar o uso de água e de energia. O primeiro, de aproveitamento de água, racionaliza água de chuva para utilização não potável, no abastecimento dos vasos sanitários e na rega de jardim da residência. Sua elaboração objetiva atingir um uso eficiente, conservação da água e utilização racional, promovendo a minimização da escassez. Sua viabilidade se caracteriza pela diminuição da utilização de água potável, dos picos de inundações e a redução de custo com água. Considerou-se um sistema construtivo de fluxo total, onde a água coletada dos telhados é conduzida por calhas e tubos, e passa por um filtro até o reservatório elevado, sendo descartadas as impurezas. O sistema foi elaborado de acordo com as necessidades dos usuários, estimulando a economia de água e considerando a disponibilidade pluviométrica. No segundo sistema, de utilização de energia solar, o objetivo era reduzir o consumo de energia elétrica, sem poluição do meio ambiente, utilizando uma fonte de energia inesgotável, a incidência solar. O sistema de captação solar é construtivo de aquecimento que alimenta os banheiros da residência e reduz a utilização dos chuveiros elétricos, por meio de um aquecedor de acumulação. O sistema é constituído basicamente de placas coletoras e de um boiler. Ambos os sistemas visam a aspectos econômicos e ecológicos, buscando preservar o meio ambiente, sendo adequados aos itens de necessidades e conforto da residência.

Sumário

1. Introdução
2. Reúso da água da água de chuva e energia solar
 - Reúso da água de chuva
 - Utilização da energia solar
 - Uso racional de água e energia
3. Estudo de caso
 - Descrição da edificação estudada
 - Sistema de aproveitamento da água de chuva da edificação estudada
 - Descrição do sistema de aproveitamento da água de chuva
 - Dimensionamento do sistema de aproveitamento da água de chuva
 - Cálculo da economia de água com a utilização do sistema de aproveitamento da água de chuva
 - Sistema de aquecimento de água com energia solar da edificação estudada
 - Descrição do sistema de aquecimento de água com energia solar
 - Dimensionamento do sistema de aquecimento de água com energia solar
 - Cálculo da economia de energia com a utilização do sistema de aquecimento de água com energia solar
4. Análise da viabilidade econômica dos sistemas
 - Análise da viabilidade econômica do sistema de aproveitamento da água de chuva
 - Análise da viabilidade econômica do sistema de aquecimento de água com energia solar
5. Conclusão
- Referências bibliográficas

1. Introdução

Definir como sustentável o projeto de uma edificação é tarefa difícil, uma vez que o tema aborda vários campos de conhecimento distintos como: a química, que analisa não só as propriedades dos materiais empregados e os resíduos gerados na construção, mas verifica o impacto causado por eles sobre o meio ambiente; a biologia, para investigar as condições do organismo de um indivíduo exposto a um ambiente e identificar as condições ideais de conforto; a física, para buscar o melhor aproveitamento da ventilação e iluminação natural nos ambientes; e várias outras ciências que, interligadas, compõem um grupo multidisciplinar para analisar cada aspecto relevante na caracterização da sustentabilidade, da extração da matéria-prima usada no canteiro de obra para o tratamento e destinação dos resíduos gerados pela demolição da construção.

De acordo com Valério Gomes Neto (*apud* Figueirola, 2008), conselheiro do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), uma edificação sustentável "é a que consome menos energia, água e outros recursos naturais, e que considera o ciclo de vida dos materiais utilizados e o da edificação desde o projeto, passando pela construção, operação e manutenção, até o esgotamento de sua destinação original".

Já Alexandra Lichtenberg (*apud* Figueirola, *op. cit.*), arquiteta da Ecohouse e mestre em conforto ambiental e eficiência energética pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro, afirma que "a principal característica de um projeto sustentável é a eficiência no uso de energia, água e recursos, ao mesmo tempo que propicia um excelente nível de conforto (higrotérmico, lumínico, acústico, visual e de mobilidade)".

Diante dessa dificuldade de classificar um projeto como sustentável, mas procurando abordar temas essenciais nessa classificação, o presente trabalho busca analisar o aproveitamento da energia solar para aquecimento de água, e a captação e o armazenamento da água da chuva para utilização em bacias sanitárias. O pressuposto é que esses sistemas, hoje tidos como alternativos e talvez caros de um ponto de vista inicial, se tornem essenciais para as construções do futuro; e, se implantados imediatamente nas construções, proporcionem um retorno financeiro a médio e longo prazos que justifique suas instalações em uma residência unifamiliar.

A engenharia é, sem dúvida, a grande responsável pela melhoria da qualidade de vida da população, uma vez que ela desenvolve as ferramentas utilizadas pelo homem para alcançar e satisfazer suas necessidades, como meios de transportes, máquinas, tecnologias agrícolas, equipamentos hospitalares, eletroeletrônicos, e toda uma série de outras criações que proporcionam conforto e qualidade de vida bem maior do que tinham nossos antepassados.

No entanto, o desenvolvimento do conhecimento científico sempre esteve voltado para interesses que, na maioria das vezes, desprezavam o impacto desses avanços sobre o meio ambiente, e nem sempre beneficiavam, ou sequer chegavam a, toda a população (Braga *et al.*, 2005).

Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade técnica e econômica do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável e a utilização da energia

solar como formas de diminuir a demanda dos recursos naturais esgotáveis, como a água e a energia, cada vez mais escassas. Isso proporcionaria ao usuário uma economia de retorno em médio prazo sobre o investimento feito, induzindo assim a aplicação de novas alternativas solucionadas por um projeto de engenharia.

2. Reúso da água de chuva e energia solar

Reúso da água de chuva

Sem dúvida, a água se torna, progressivamente, um recurso de escassez crescente para os diferentes usos sociais, tanto pela sua disponibilidade quantitativa quanto pela qualitativa. Elemento vital para os ecossistemas e para a sociedade humana, a água tem seu valor econômico cada vez mais reconhecido, podendo ser considerada um veículo de desenvolvimento. Partindo desse princípio, é vital reconhecer o direito de todos os seres humanos de terem acesso a mananciais de boa qualidade. Assim, torna-se inevitável um gerenciamento eficaz do recurso água, para se atingir a utilização eficiente e equitativa, com conservação, uso racional e proteção de mananciais (Mancuso et al., 2003).

Segundo Uhly *et al.* (2004), a água é um recurso finito e vulnerável, essencial para sustentar a vida. A escassez e a utilização inadequada desse recurso são fatores de crescente risco para o desenvolvimento sustentável e para a proteção do meio ambiente.

A escassez de água já é realidade em países como Cingapura, Kuwait, Jordânia. Outros, como, Líbia, Marrocos, Egito, Camarões e África do Sul, devem entrar nessa lista até 2025, segundo estimativas da ONU.

O National Center for Sustainable Water Supply (ncsws), grupo de estudos patrocinados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Usepa) e pela Fundação de Pesquisas da American Water Works Association, afirma que:

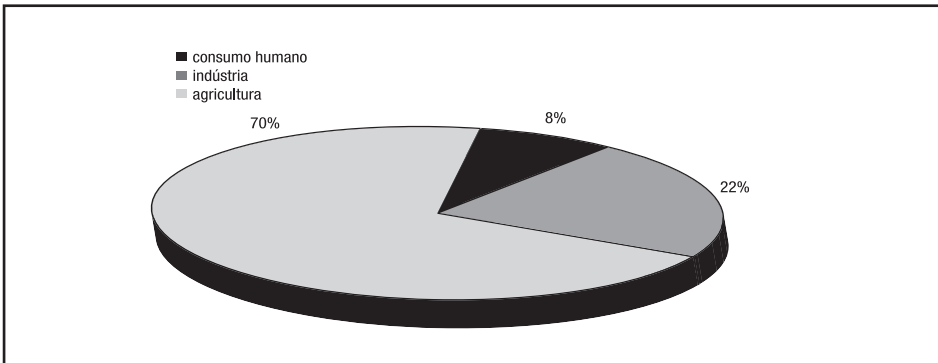
Com o crescimento populacional de 80% nas áreas urbanas, por volta de 2025 a população com escassez de água será dez vezes maior do que a atual;

O reúso e a recirculação da água são os únicos métodos de aumentar o suprimento após o esgotamento da água superficial e do aquífero subterrâneo. (Mancuso et al., op.cit).

A preocupação do homem com a água é fato há centenas de anos. Populações primitivas viviam se deslocando e fixando moradia próximo a fontes de água, para garantir sua sobrevivência. Com o tempo e o crescimento da população, esses deslocamentos se tornaram mais difíceis, e começaram a surgir preocupações com a utilização da água disponível para o consumo das comunidades.

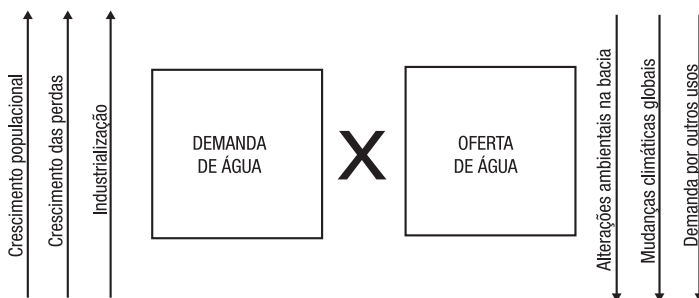
A disponibilidade dos recursos hídricos no Brasil é de 251 mil metros cúbicos por segundo(m^3/s). A bacia Amazônica, com vazão de $202.000m^3/s$, corresponde a 12% do total mundial, e 73% do potencial hídrico brasileiro (Uhly et al., op. cit.).

De toda a água disponível no planeta, apenas 0,3% pode ser usado para consumo humano; e, dessa pequena parte, apenas uma fração pouco significativa é disponível para o consumo humano propriamente dito, uma vez que a maior parte é consumida pela indústria e a agricultura, como demonstra o Gráfico 1 (Philipp Jr., 2005).

Gráfico 1. Utilização da água disponível para consumo

Considerando que o volume de água disponível em rios, lagos e no subsolo seja de 44.800km³, e a população do planeta é de 6,60 bilhões de pessoas, a disponibilidade para cada pessoa é de 591m³ de água. Com consumo médio de 100 litros por habitantes, por dia, cada pessoa teria água suficiente para se abastecer por 17 anos. Supondo uma expectativa de vida de 70 anos, pode-se concluir que uma só pessoa irá fazer uso da mesma água quatro vezes (Philipp, op. cit.).

O Esquema 1 apresenta um resumo objetivo de como as consequências geradas pelo desenvolvimento da humanidade afetam a relação oferta X demanda de água no planeta, no sentido de termos um consumo cada vez maior, com uma reserva cada vez menor.

Esquema 1. Relação da demanda de água x oferta de água

FONTE: Heler *et al.* 2006.

Os objetivos dos programas de uso racional são modificar os hábitos das pessoas, o desenvolvimento de tecnologias para a fabricação de equipamentos hidráulicos e sanitários que consumam cada vez menos água, e mudar concepções de projetos hidráulicos que possibilitem a utilização de equipamentos econômicos no consumo de água. Faz parte ainda dos programas a implementação de leis que incentivem o uso racional da água e a inclusão de disciplinas relacionadas ao assunto nos currículos escolares (Philip Jr., op. cit.).

As tecnologias de tratamento, que permitem a reutilização da água nas residências, despontam em todo o mundo como uma alternativa marcante para minimizar o panorama de escassez da água.

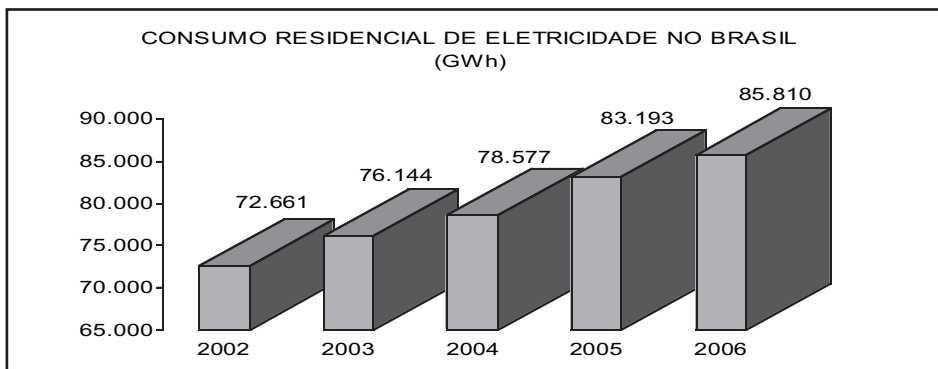
Utilização da energia solar

Quase 50% da energia elétrica consumida no Brasil são utilizados por edificações residenciais, comerciais e públicas. Em 1992, isso representou um consumo equivalente a um potencial de energia instalado semelhante a duas hidrelétricas de Itaipu (Lamberts *et al.*, 2004).

A energia elétrica nacional provém principalmente de termelétricas e hidrelétricas, sendo que a segunda representa 90% da oferta do país (Past *et al.*, 2005).

Uma excelente fonte alternativa de energia, principalmente para o Brasil, que possui um bom período de insolação durante o ano, é a energia solar, que pode ser obtida de maneira direta para aquecimento de água ou para ser convertida em energia elétrica, ao ser captada por painéis fotovoltaicos.

Gráfico 2. Consumo residencial de eletricidade no Brasil (2006)



FONTE: Balanço Energético Nacional, MME, 2006.

Conforme estudo realizado pelo Newcastle Photovoltaics Application Centre (*apud* Scheer, 1995, p.109), "o potencial estaria à disposição: se as células fotovoltaicas estiverem integradas à estrutura dos edifícios, bastarão 10% da superfície dos edifícios para cobrir a demanda elétrica total da Inglaterra – respeitando a oferta variável de energia ao longo do dia e do ano, e a flutuação na demanda ao longo do dia".

A oferta de energia utilizável tecnicamente é enorme, sua obtenção de forma direta, levando em conta as perdas de transformação de energia, é de 19 TWh/ano, bem superior ao consumo mundial de energia no nível do consumidor, que é de 7,5 TWh/ano (Turrini, 1993).

O Brasil apresenta ótimos índices de radiação solar, principalmente no Nordeste, que possui valores típicos entre 1.752 a 2.190 kWh por metro quadrado por ano. Países como a França, por exemplo, recebe radiação entre 1.000 e 1.500 kWh, e o deserto do Saara, em torno de 2.600 kWh por metro quadrado ao ano (Aldabó, 2002).

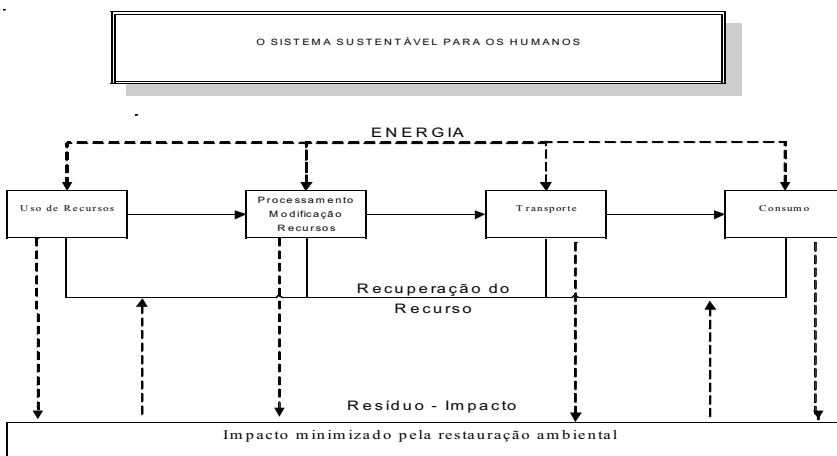
Uso racional de água e energia

Um sistema que vise a aspectos referentes à sustentabilidade deve estar relacionado, antes de tudo, aos itens de necessidade e conforto de uma residência. Portanto, “antes de iniciar o projeto de uma edificação, é importante conhecer o clima. Uma boa arquitetura deverá assistir tanto ao programa de necessidades quanto à análise climática, de forma a responder simultaneamente à eficiência e às necessidades de conforto” (Past *et al.*, op. cit.).

A preocupação com os recursos água e energia é maior em regiões que sofrem mais com sua deficiência de abastecimento. No Brasil, de maneira geral, essas questões começaram a incomodar mais recentemente, graças aos “apagões” no setor energético e à dificuldade de abastecimento de água nas grandes cidades, por causa da situação dos rios, cada vez mais poluídos, assoreados e insuficientes para atender a uma população que cresce desordenadamente.

O Esquema 2 mostra um diagrama ilustrando como se deve formar um sistema sustentável:

Esquema 2. Modelo atual de desenvolvimento



FONTE: Braga et al., 2006.

Hoje, racionalizar o uso da água e de energia não é preocupação localizada de um ou outro governo, mas um consenso mundial. Isso se deve, em parte, ao fato de a má distribuição da água, em relação à população, provocar escassez em várias áreas do globo, e também porque boa parte da energia utilizada é gerada pela queima de combustíveis fósseis, o que contribui para o efeito estufa.

3. Estudo de caso

Descrição da edificação estudada

A residência usada como modelo para os cálculos deste trabalho é uma casa que será construída no bairro Morada de Laranjeiras, Serra/ES. A região foi escolhida por ser um bairro novo, residencial, constituído basicamente de casas que obedecem a um mesmo padrão construtivo, no qual os sistemas aqui propostos poderiam ser implantados sem muita dificuldade.

Os lotes do bairro são de 200m², e, para tirar melhor proveito do terreno, as casas geralmente são de tipo dúplex. A casa escolhida como modelo para esse trabalho possui dois pavimentos, com 132m² de área construída, excluindo a garagem, que fica fora da edificação. A residência possui quatro quartos, sendo um deles uma suíte, uma sala de TV, duas varandas, três banheiros, uma sala conjugada com uma copa, cozinha e área de serviço. É considerada uma residência para cinco pessoas.

Sistema de aproveitamento da água de chuva da edificação estudada

A água de chuva captada e armazenada pelo sistema em questão servirá exclusivamente para uso em bacias sanitárias e rega de jardins, direcionada para uma utilização não potável, portanto. Vale ressaltar que o emprego dessa água em bacias sanitárias será feito através de tubulação específica, evitando o contato da água armazenada com a água proveniente do abastecimento público, conforme preconiza a NBR 5626/1998: "5.4.4.1 Não deve haver interligação entre a tubulação que conduza água fornecida por redes públicas de concessionárias e tubulação que conduza água proveniente de sistema particular de abastecimento (conexão cruzada), seja esta última água potável ou não."

Descrição do sistema de aproveitamento da água de chuva da edificação estudada

O esquema consiste em um sistema de fluxo total: a água de chuva captada será armazenada em reservatório elevado, que ficará localizado atrás da residência. Na entrada do reservatório, será instalado um sistema com filtros capaz de remover partículas sólidas e descartar a água proveniente dos primeiros minutos de chuva. O excedente da água captada irá extravasar para um sistema de drenagem pluvial.

O reservatório da água pluvial será abastecido por meio de uma tubulação exclusiva, num sistema de boia situado a uma altura correspondente a 5% do seu volume, conectada pelo reservatório de água fria, numa cota superior a este, impedindo a mistura da água de chuva com a água proveniente do abastecimento público. Dessa forma, a tubulação que levará água pluvial para as bacias sanitárias será a mesma que conduzirá a água do abastecimento público quando o reservatório estiver com o nível de água pluvial abaixo de 5% do volume.

Dimensionamento do sistema de aproveitamento de água de chuva da edificação estudada

Para o dimensionamento de um sistema de captação de água pluvial, a NBR 10.844/89 estabelece um período de retorno (T) de cinco anos (cobertura e/ou terraços). Já a intensidade pluviométrica utilizada para esse período será a da cidade de Vitória/ ES, que é de 156mm/h.

Vazão de projeto

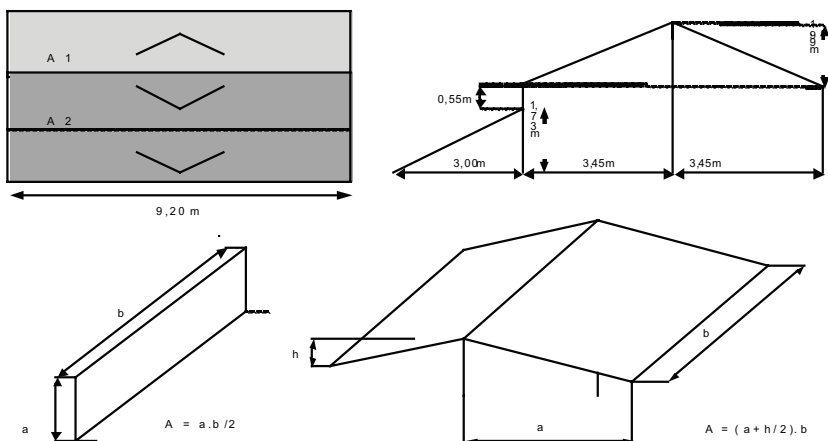
A vazão da água captada pela cobertura é dada por:

$$Q = I \times A / 60,$$

onde Q = vazão do projeto, em litros por minuto; I = intensidade pluviométrica, em mm/h; A = área de contribuição em m².

A área de contribuição varia de acordo com o tipo da superfície do telhado. No caso da residência em estudo, será calculada a vazão de contribuição de cada caída de água, frente e fundos, de maneira a dar o dimensionamento das calhas, utilizando para isso a área da cobertura da residência (ver Esquema 3).

Esquema 3. Vista superior e vista de perfil do telhado. Fórmula do cálculo das áreas da cobertura, de acordo com a cobertura



Seja A1 a cobertura com queda para os fundos, e A2 a cobertura com queda para frente, tem-se (A1 = área 1; A2 = área 2; Q1 = vazão área 1; Q2 = vazão área 2):

$$A1 = (3,45 + 1,99 / 2) \times 9,20 = 40,89\text{m}^2$$

$$Q1 = 156 \times 40,89 / 60 = 106,31 \text{ L/min}$$

$$A2 = (3,00 + 1,73 / 2) \times 9,20 + 0,55 \times 9,20 / 2 + (3,45 + 1,99 / 2) \times 9,20 = 78,98\text{m}^2$$

$$Q2 = 156 \times 78,98 / 60 = 205,35 \text{ L/min}$$

Calhas

As calhas têm uma declividade de 0,5%, o mínimo aceito pela NBR 10844/89, e são do tipo semicircular, em PVC. O diâmetro interno, em função da vazão, é tabelado na norma e, considerando um coeficiente de rugosidade $n = 0,011$, então:

Calha dos fundos: vazão $Q1 = 106,31$ l/min, adota-se $D1 = 100$ mm (atende até 130 l/min).

Calha da frente: vazão $Q2 = 205,35$ l/min, adota-se $D2 = 125$ mm (atende até 236 l/min).

Condutor horizontal

Para transportar a água recolhida pelas calhas foi usado um condutor horizontal circular de PVC, com uma declividade de 0,5%. Adotando-se um coeficiente de rugosidade igual ao das calhas e, considerando o escoamento com lâmina de altura igual a $2/3$ do diâmetro interno do tubo, tem-se:

Vazão total ($Q1 + Q2$) = $311,76$ l/min, adota-se $D = 125$ mm (atende até 370 l/min).

Condutor vertical

Para condutor vertical, usou-se um método prático, apresentado por Botelho e Ribeiro (2006), que fornece o diâmetro do condutor em função da área do telhado e intensidade da chuva dentro de um limite de vazão. Do projeto, tem-se:

Área do telhado = $(A1 + A2) = 40,89 + 78,98 = 119,87$ m².

Vazão de projeto = $Q1 + Q2 = 311,76$ L/min = $5,20$ L/s.

Chuva = 156 mm.

Obtém-se o diâmetro $D = 125$ mm.

Dimensionamento do reservatório

Para se dimensionar o tamanho do reservatório ideal para a residência, é necessário saber o consumo diário de água da casa, considerando-se bacia sanitária, rega de jardins e a quantidade de chuva diária que irá abastecer o reservatório.

Consumo diário do reservatório de água pluvial

De acordo com Manintyre (1990), o consumo diário de água estimado para rega de jardim em uma residência é de $1,5$ l/m² de área. Vamos adotar uma área de jardim de 40 m²

Para o cálculo, tomaram-se por base dados de vários autores, adotados os seguintes dados:

Consumo diário de água (excluindo rega de jardins) – 150 l/dia por pessoa.

Consumo diário de água em bacias sanitárias (15%) – $22,5$ l/dia por pessoa.

Portando o consumo diário de água abastecida pelo reservatório de água pluvial será:

Consumo diário = consumo com rega de jardim + consumo em bacia sanitária

Consumo diário = $1,5 \times 40,00 + 5 \times 22,5 = 172,5$ litros

Volume de água de chuva que abastece o reservatório

Para determinar o volume total de chuva incidente na região, empregou-se o Sistema de Informações Hidrológicas, disponibilizado pela Agência Nacional das Águas (ANA) no endereço eletrônico <http://hidroweb.ana.gov.br>, do qual se obtiveram dados pluviométricos e fluviométricos para o período de janeiro de 1947 a outubro de 2008, de estações localizadas em diversos pontos do Brasil. Nos Gráficos 3 e 4 estão os dados obtidos para a Estação Pluviométrica Fazenda Fonte Limpa, localizada na cidade de Serra. Neles estão a média mensal de chuvas e a média dos dias de chuvas para o período informado.

Gráfico 3. Média mensal de chuvas da Serra/ES, para o período jan 1947-out 2008

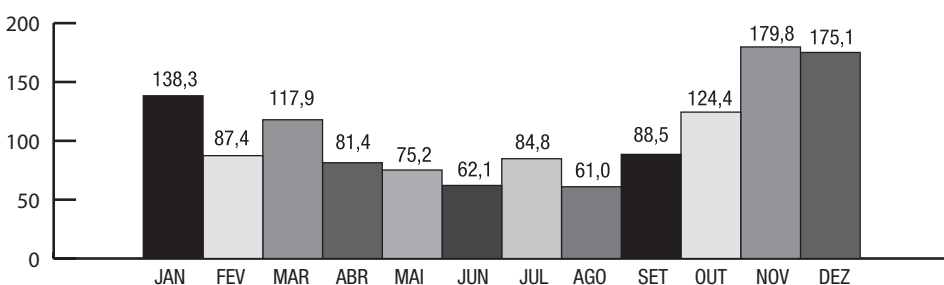
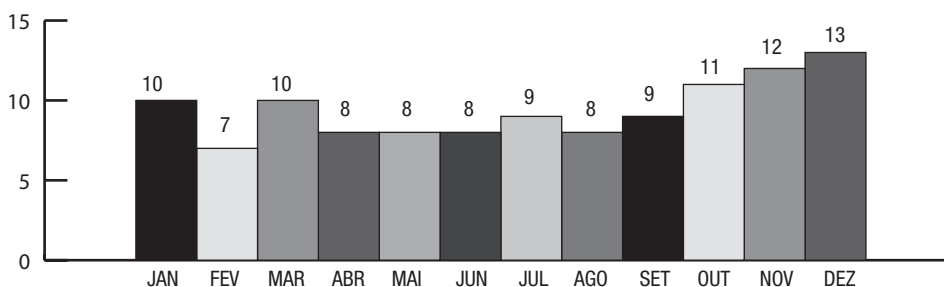
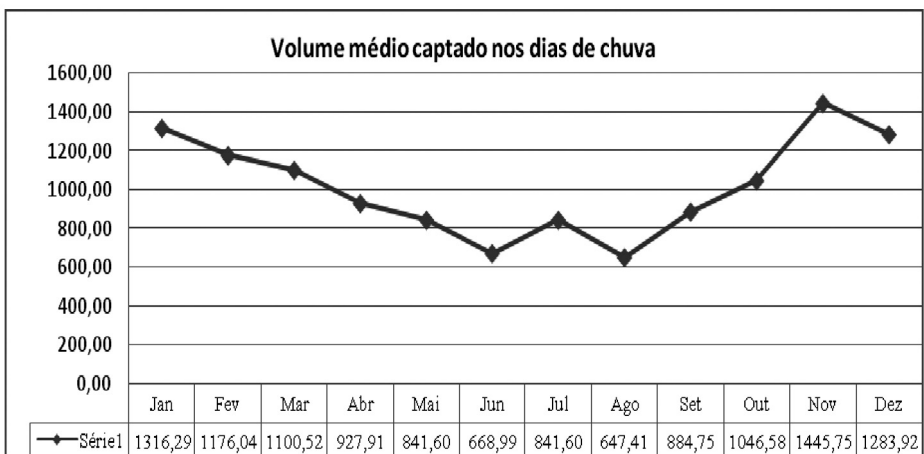


Gráfico 4. Média de dias de chuva da Serra/ ES, para o período jan 1947-out 2008



A partir da média mensal (Mm) do número de dias chuvosos (Nd), obtidos do Gráfico 3 e 4, e da área de cobertura do telhado (119,87m²), fez-se uma estimativa do volume médio diário (Vmd) de precipitação que abastecerá o reservatório, descartando os 10% de seu volume correspondentes aos primeiros minutos de chuva. Calculou-se, para cada mês do ano, o volume médio de abastecimento (Vma), já desconsiderando o consumo diário de água desse reservatório (172,5 litros/dia), supondo a pior situação referente à distribuição da chuva, quando ela ocorre de forma ininterrupta durante a quantidade média de dias para cada mês. Fazendo o cálculo para cada mês do ano, obteve-se o volume médio captado nos dias de chuva, conforme o Gráfico 5.

$$Vma = (Mm/Nd) \times 119,87 \times 0,90 - 172,5 \text{ (litros) (ver Gráfico 5).}$$

Gráfico 5. Volume médio captado nos dias de chuva

Cálculo da economia de água com a utilização do sistema de aproveitamento da água de chuva

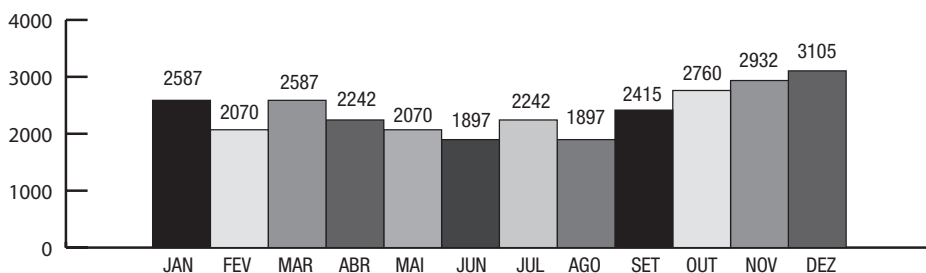
Com base nos dados do Gráfico 4, pode-se projetar um reservatório de 1.000 litros para armazenar a água de chuva captada no telhado da residência. Desconsiderando-se o volume correspondente a 5%, que será abastecido pelo sistema de água fria, pode-se determinar a quantidade de dias abastecidos com a água armazenada no reservatório e somá-los à quantidade média de dias de chuva para cada mês do ano.

Tabela 1. Número de dias abastecido com a água proveniente da chuva

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Dias de chuva (1)	10	7	10	8	8	8	9	8	9	11	12	13
Volume armazenado (litros)	950	950	950	927,9	841,6	669	841,6	647,4	884,8	950	950	950
Dias abastecido = Vol arm/172,5 (2)	5	5	5	5	4	3	4	3	5	5	5	5
Total de dias (1+2)	15	12	15	13	12	11	13	11	14	16	17	18

Determinado o número de dias abastecidos com água pluvial, pode-se estimar o volume de água economizado mensalmente nas bacias sanitárias e com a rega de jardins multiplicando essa quantidade de dias pelo consumo médio diário, que é de 172,5 litros (ver Gráfico 6).

Gráfico 6. Volume de água economizado mensalmente com bacias sanitárias e rega de jardins (litros)



Sistema de aquecimento de água com energia solar da edificação estudada

O sistema utilizado no projeto servirá para aquecer apenas a água utilizada para banho, pois, naquela região, o clima dispensa a necessidade de aquecê-la para outras finalidades. O objetivo deste trabalho é dimensionar um sistema que seja economicamente viável. Por isso, ao utilizar a energia solar para aquecer somente a água destinada aos chuveiros, reduziu-se o custo de implantação do sistema, que pode ser montado com um número menor de peças (tubos, luvas, joelhos etc.). Ao mesmo tempo, direciona-se toda a água aquecida para o banho, o que reduz o uso de energia num dos aparelhos que mais a consome numa residência, o chuveiro elétrico.

Descrição do sistema de aquecimento de água com energia solar

Como a água aquecida com energia solar será destinada apenas ao banho, será utilizado um sistema do tipo individual, que acumulará a água aquecida nos painéis solares num boiler, para posterior utilização nos chuveiros. Os painéis solares foram instalados sobre a cobertura da residência, e o boiler, próximo à caixa d'água, que será o reservatório de água fria do sistema.

Vale ressaltar ainda que o sistema não dispensa o uso de energia elétrica em ocasiões de baixa incidência solar ou de demanda de água quente superior à dimensionada para a residência.

Dimensionamento do sistema de aquecimento de água com energia solar

A NBR 07198/93 institui a exigência de uma temperatura máxima de 70 graus Celsius e pressão de serviço para o chuveiro de 0,5 m.c.a. O material utilizado para a canalização foi o PPR (Polipropileno copolímero Randon tipo 3), sugerido por Botelho e Ribeiro (2006), material que, apesar de não previsto explicitamente na NBR, pode ser empregado, como argumentam esses autores, por obedecer aos requisitos de qualidade previstos na norma e em outras normas e especificações dos fabricantes.

Cálculo da tubulação de água quente

Para esses cálculos, utilizaram-se dados de Botelho e Ribeiro (2006):

Temperatura de uso da água = 60°C.

Vazão a escoar = 0,4 l/s (considerando o uso de, no máximo, dois chuveiros simultaneamente).

Diâmetro nominal = 32mm (tubo da marca Amanco PPR PN 20).

Velocidade da água = 0,96m/s.

Fórmula para perda de carga:

Perda de carga (J): $J = J_{\text{tubos}} + J_{\text{conexões}} = J.L + SR.V^2/(2g)$,

onde: J = perda de carga unitária; L = comprimento dos tubos; SR = soma das perdas de carga por peça dos conectores; V = velocidade em m/s; g = gravidade (9,8m/s²);

A velocidade e o diâmetro foram obtidos a partir de dados tabelados para a temperatura considerada, respeitando o limite de velocidade estabelecido pela NBR 07198/93, de 3,00m/s.

Com essas informações, obteve-se a perda de carga total, desde o reservatório até cada ponto de água quente (sobre isso, ver Tabela 2). Para atender às condições de uso, a perda de carga total (J) deve ser menor que a altura do nível de água (NA) do reservatório em relação ao ponto de vazão, a qual foi obtida no diâmetro nominal de 32mm.

Tabela 2. Perda de carga total

Verificação quanto ao atendimento da tubulação de PPR PN20 com diâmetro nominal de 32mm em relação à perda de carga				
Peça	Comprimento equivalente	AQ1 Quantidade	AQ2 Quantidade	AQ3 Quantidade
Joelho de 90°	2	9	6	7
TE 90° passagem direta	1,5	1	0	1
TE 90° saída de lado	4,6	2	3	1
Registro de gaveta	0,4	2	2	2
Somatória dos coeficientes de resistência para conexão(SR)		29,5	26,6	20,9
Comprimento da tubulação (L)		15,8	10,73	17,38
Perda de carga total (J)		2,1	1,73	1,76
Altura do NA do reservatório em relação ao ponto de vazão		2,6	2,6	5,6

Volume do reservatório

Adotando-se a estimativa de consumo de 45 litros por pessoa/dia e um banho por pessoa/dia, temos:

$$V = 5 \times 45 = 225 \text{ litros}$$

Determinação da área dos coletores

A quantidade de calor necessária para elevar a temperatura vinda do reservatório de água fria é dada pela formula:

$$Q = m.c.(T_a - T_b),$$

onde: T_a = temperatura ambiente (adotou-se 20°C); m = volume de água (225 litros); c = calor específico da água (1kcal/kg °C); T_b = temperatura da água no boiler (60°C).

$$Q = 225 \times 1 \times (60 - 20) = 9.000 \text{ kcal} / 860,5 = 10,46\text{kWh}$$

Nas Tabelas 3 e 4 são representados dados obtidos do programa SunData, criado pela Cresesb, que utiliza o banco de dados Censolar (1993), contendo valores de radiação média diária mensal no plano horizontal para cerca de 350 pontos no Brasil e em países limítrofes. Para a cidade da Serra/ES, fez-se uma média entre a radiação média diária mensal das cidades limítrofes de Aracruz e Vitória, conforme Tabela 5, utilizando dados das Tabelas 3 e 4.

Coordenadas da cidade de Serra/ES:

Latitude: -20° 07' 43"S Longitude: 40° 18' 28"W

Dados fornecidos pelo programa Sundata V1.0 para localidades próximas, em kWh/m² dia:

Tabela 3. Radiação média diária mensal da cidade de Aracruz (19.820°S,40.273W) – Espírito Santo

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Radiação	5,81	5,25	5,39	4,22	3,78	3,14	3,89	4,36	3,86	4,78	4,78	5,08
Média	4,53											

Tabela 4. Radiação média diária mensal da cidade de Vitória (20.319°S,40.338W) – Espírito Santo

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Radiação	6,14	5,97	5,5	4,56	4,17	3,67	3,89	4,53	4,31	5,11	5	5,67
Média	4,88											

Tabela 5. Radiação média diária mensal das duas localidades, Aracruz e Vitória

Mês	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Radiação	5,98	5,61	5,45	4,39	3,98	3,41	3,89	4,45	4,09	4,95	4,89	5,38
Média	4,70											

Tomando para Serra/es o valor médio mensal diário, tem-se:

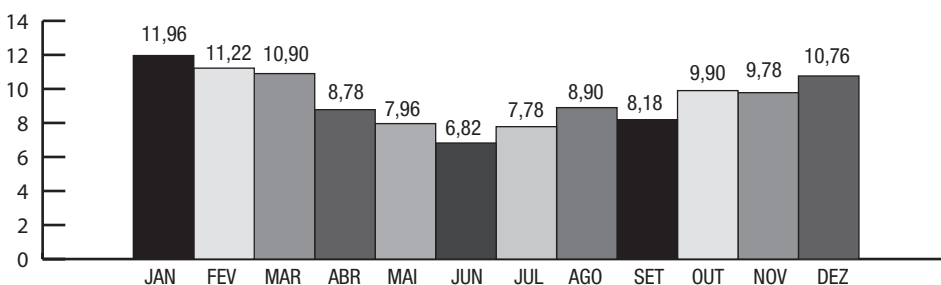
$$I = 4,70\text{kWh/m}^2 \text{ dia no plano horizontal; logo: } S = Q / I = 10,46 / 4,70 = 2,22\text{m}^2.$$

Portanto, foram utilizado 2m^2 de placas para captação da energia solar.

Cálculo da economia de energia com a utilização do sistema de aquecimento de água com energia solar

A partir da Tabela 5, pode-se determinar a quantidade de energia fornecida pelo sistema para o aquecimento da água, em cada mês do ano, para um painel solar de 2m^2 de área, representados no Gráfico 7.

Conforme dados da Light (1997), um chuveiro elétrico consome em média 3.500W por período de 30 dias, com utilização média de 40 minutos por dia (dados para cinco pessoas), e gera um consumo médio mensal de 70kWh ($0,47\text{kWh}$ por pessoa por dia).

Gráfico 7. Média diária de energia fornecida pelos painéis solares durante um ano

Visto que são necessários $10,46\text{kWh}$ de energia para se elevar a temperatura da água de 20°C para 60°C , há uma necessidade média *per capita* de $2,09\text{kWh}/\text{dia}$ para satisfazer cinco pessoas. Assim, montou-se a oferta média mensal de energia consumida pelo sistema (ver Tabela 6) e determinou-se a quantidade média de pessoas que farão uso do chuveiro elétrico para banho. Quando a oferta for menor que a demanda, há uma quantidade de energia que pode ser economizada mensalmente pelo sistema.

Tabela 6. Orçamento do projeto hidrossanitário de água de chuva

Mês	(1) Energia fornecida pelo sistema (kWh/dia)	(2) Pessoas abastecidas pelo sistema ((1)/2,09)	(3) Pessoas que utilizarão chuveiro elétrico (5-(2))	Energia elétrica economizada em kWh ((2)*0,47*30))
Jan	11,96	5	0	70
Fev	11,22	5	0	70
Mar	10,9	5	0	70
Abr	8,78	4	1	56
Mai	7,96	3	2	42
Jun	6,82	3	2	42
Jul	7,78	3	2	42
Ago	8,9	4	1	56
Set	8,18	3	2	42
Out	9,9	4	1	56
Nov	9,78	4	1	56
Dez	10,76	5	0	70

4. Análise da viabilidade econômica dos sistemas

De acordo com custos dos materiais utilizados para a implantação de cada sistema, realizaram-se cálculos para verificar a viabilidade de cada um. Para efeito de cálculo, serão feitas as seguintes considerações: taxa de retorno, 5,5% a.a; período: dez anos.

As considerações são feitas tomando por base as taxas de financiamento para aquisição de material de construção na Caixa Econômica Federal, que tem uma taxa de juros a partir de 4,5% a.a, mais TR, que está em torno de 0,7% a.a, e prazo máximo de 120 meses.

Análise da viabilidade econômica do sistema de aproveitamento da água de chuva

Para se estimar o custo de um sistema de aproveitamento de água de chuva na residência em questão, realizou-se um orçamento, tomando como base os preços referenciais de custos cotados no mercado da cidade da Serra/ES no mês de abril de 2009, como se vê na Tabela 7.

Tabela 7. Orçamento do projeto hidrossanitário de água de chuva

Especificação	Und.	Quant.	Preço unitário	Preço total
Calha de PVC meia-cana, diâmetro 150mm	und.	7	R\$ 49,00	R\$ 343,00
Cabeceira	und.	4	R\$ 7,02	R\$ 28,08
Bocal	und.	2	R\$ 24,22	R\$ 48,44
Borracha de vedação	und.	15	R\$ 1,00	R\$ 15,00
Suporte	und.	20	R\$ 10,45	R\$ 209,00
Emenda	und.	7	R\$ 12,40	R\$ 86,80
Condutor para calha tubo, diâmetro 150mm	und.	9	R\$ 37,32	R\$ 335,88
Te ligação calha	und.	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Jo 90 ^a	und.	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Jo 45 ^a	und.	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Tubo soldável 20mm, inclusive começões	und.	9	R\$ 10,68	R\$ 96,13
Registro gaveta	und.	2	R\$ 27,27	R\$ 54,54
Válvula de retenção	und.	3	R\$ 16,00	R\$ 48,00
Filtro de descida modelo Wisy	und.	1	R\$ 1.290,00	R\$ 1.290,00
Caixa d'água de fibra de vidro cilíndrica	und.	1	R\$ 199,00	R\$ 199,00
Suporte de madeira p/ caixa d'água	und.	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
			Total	R\$ 2.833,87

Considerou-se no orçamento as calhas, os condutores verticais e horizontais, um filtro autolimpante para remoção de folhas e outros detritos, o condutor de eliminação de descarte da água de chuva e um reservatório com capacidade para 1.000 litros.

Somando-se os volumes de água economizados em cada mês, obtêm-se o volume anual de 28.635 litros, que convertemos para 28,64m³, já que o consumo de água medido pelas empresas de abastecimento é feito em metros cúbicos.

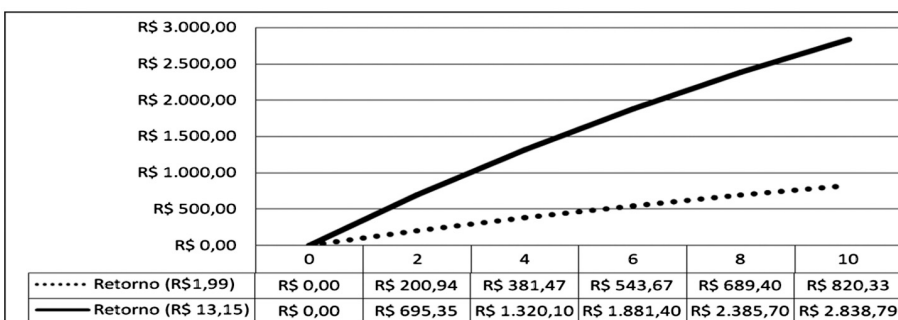
O valor do metro cúbico de água foi obtido de uma conta de água referente ao mês de abril de 2009, fornecido pela Companhia Espírito Santense de Abastecimento (Cesan), para uma residência de mesmo padrão construtivo. A Tabela 8 sintetiza as informações necessárias para os cálculos.

Tabela 8. Sistema de reúso de água de chuva

Volume de água economizado durante o ano (m ³)	28,64
Preço do metro cúbico (R\$)	R\$ 1,99
Economia anual (R\$)	R\$ 56,99
Valor do investimento (R\$)	R\$ 2.833,87
Taxa de juros anual	5,50%

No Gráfico 8 está representado o retorno do investimento, feito para um período de 10 anos em intervalos de 2 anos. Observe que, para o custo vigente do metro cúbico de água, de R\$1,99, o sistema tem um retorno de apenas 28% do investimento no período considerado. Para ser viável, o custo da água deveria ser de R\$ 13,15 para cada metro cúbico, conforme apresentado no gráfico, isto sem considerar a mão de obra, apenas o custo do material.

Gráfico 8. Retorno financeiro em função do tempo



Análise da viabilidade econômica do sistema de aquecimento de água com energia solar

A partir dos dados utilizados no dimensionamento do reservatório de água quente, foi elaborado o orçamento para sua instalação. A Tabela 9 representa o orçamento.

De maneira análoga ao cálculo para o volume de água economizado, calculou-se o volume total de energia economizado durante o ano, que é de 672,00kWh. Fazendo uso de uma conta de energia da Espírito Santense Centrais Elétricas S.A.(Escelsa), do mês de maio de 2009, para a mesma residência empregada como referência para o cálculo do sistema de coleta de água da chuva, obtêm-se o custo do kWh. Na Tabela 10, está o resumo dos dados para o cálculo.

Tabela 9. Orçamento do projeto hidrossanitário de água quente

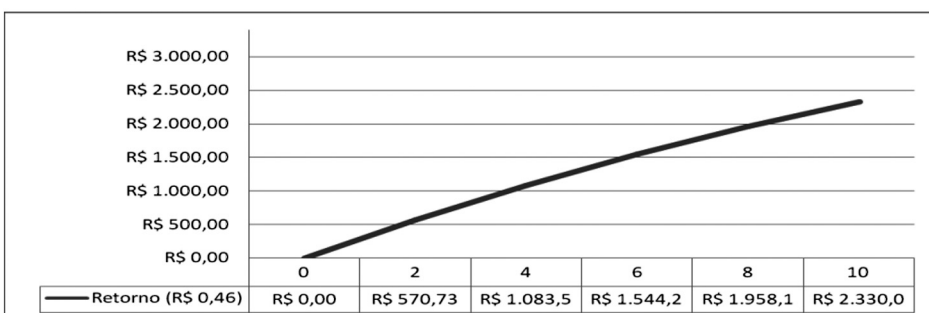
Especificação	Und.	Quant.	Preço unitário	Preço total
Tubo soldável de cpvc diâmetro 32mm	und	9	R\$ 39,64	R\$ 356,76
Te 90ª diâmetro 32mm	und	5	R\$ 6,00	R\$ 30,00
Jo 90ª diâmetro 32mm	und	15	R\$ 4,00	R\$ 60,00
luva diâmetro 32mm	und	4	R\$ 3,02	R\$ 12,08
Registro gaveta diâmetro 32mm	und	3	R\$ 32,00	R\$ 96,00
Registro de pressão diâmetro 32mm	und	3	R\$ 32,00	R\$ 96,00
Sistema de aquecimento solar instalado	und	1	R\$ 799,00	R\$ 799,00
			total	R\$ 1.449,84

Tabela 10. Sistema de aquecimento solar
Sistema de utilização de energia solar

Volume de energia economizado durante o ano kWh	672
Preço do kWh	R\$ 0,46
Economia anual (R\$)	R\$ 309,12
Valor do investimento (R\$)	R\$ 1.449,84
Taxa de juros ao ano	5,50%

O Gráfico 9 ilustra o retorno do investimento, feito para um período de dez anos, em intervalos de dois anos.

Gráfico 9. Gráfico do retorno financeiro em função do tempo



Observe-se que, com esse sistema, a partir do sexto ano, o valor investido já foi totalmente recuperado; e que, ao final do prazo, a economia foi da ordem de 160%.

5. Conclusão

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que, apesar da economia expressiva feita com o sistema de aproveitamento de água de chuva (cerca de 28,64m³, ou 10,50% do consumo anual total da residência), o retorno financeiro, para um prazo de dez anos, ficou bem abaixo do investimento inicial necessário. Se for considerado que o sistema de calhas e condutores necessários para condução da água de chuva já faz parte do projeto da edificação, assim como a troca do filtro por um reservatório de descarte da primeira chuva e a implantação do sistema apenas para o banheiro social do pavimento térreo, o custo do sistema cai para R\$799,51. Nesse caso, o custo do metro cúbico, de R\$3,70, já seria suficiente para compensar o investimento feito.

Já o sistema de aquecimento de água com energia solar apresentou um retorno da ordem de 160% do investimento feito, compensando os gastos financeiros em mais ou menos metade do tempo considerado para seu retorno.

A conclusão deste trabalho é que, pelo aspecto econômico, somente o sistema de utilização da energia solar seria viável para a residência analisada. Se for considerado o aspecto ambiental do projeto, e se levar em consideração o fato de que energia elétrica e principalmente água são recursos cada vez mais caros para a população, a implantação dos dois sistemas, com algumas alterações, como as sugeridas aqui, no sentido de reduzir o custo do investimento inicial, pode ser considerada uma boa alternativa para a sustentabilidade do projeto.

Referências bibliográficas

"Água quente em instalações hidráulicas". Disponível em: www.unifor.br/notitia/file/387. Acesso em: 27 abr 2009.

ALDABÉO, Ricardo. *Energia solar*. São Paulo, Artliber, 2002.

ANNECCHINI, Karla Ponzó Vaccari. *Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória* (ES). Dissertação de mestrado em engenharia ambiental, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

"Aquecedores de água soletrol: sua opção natural pelo meio ambiente". Disponível em: <http://www.soletrol.com.br>. Acesso em: 30 abr 2009.

BAZZARELLA, Bianca Barcellos. *Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificação*. Dissertação de mestrado em engenharia ambiental, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

BRAGA, Benito et al. *Introdução à engenharia ambiental*. São Paulo, Person Prentice Hall, 2005.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos et al. *Instalações hidráulicas prediais usando tubos de PVC e PPR*. São Paulo, Edgard Blucher, 2006.

CARVALHO JR., Roberto de. *Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura*. São Paulo, Blucher, 2007.

CASTILHO ALVES, Wolney. "Como construir. Sistema de aproveitamento de águas pluviais para usos não potáveis". Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/133/artigo77982-1.asp>. Acesso em: 26 abr 2009.

CREDER, Hélio. *Instalações hidráulicas e sanitárias*. São Paulo, LTC, 1991.

"Como funciona um aquecedor solar". Disponível em: <http://www.soletrol.com.br/educacional/comofunciona.php>. Acesso em: 24 abr 2009.

FIGUEROLA, V. "Projeto sustentável", in *Téchne*, nº 133, 2008, p.44-6.

GIL, Antônio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo, Atlas, 2002.

HELLER, Léo et al. *Abastecimento de água para consumo humano*. Belo Horizonte, UFMG, 2006.

"Kits para captação de água de chuva". Disponível em: <http://www.ecoracional.com.br/Produto/6a68ecbc-9279-4432-aced-58fa18f79ea9>. Acesso em: 28 abr 2009.

LOTURCO, B. "Cultura sustentável", in *Téchne*, nº 133, 2008, p.22-6.

MACYNTIRE, Arnaldo Joseph. *Manual de instalações hidráulicas e sanitárias*. São Paulo, LTC, 1990.

MANCUSO, Pedro Caetano et al. *Reúso de água*. São Paulo, Manole, 2007.

MAY, Simone. *Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações*. Dissertação de mestrado em engenharia de construção civil e urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

PAST, A.L. et al. *Eficiência energética e uso racional da energia na edificação*. Florianópolis, UFSC/Labsolar, 2005.

PHILLIP JR., Arlindo. *Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável*. São Paulo, Manole, 2005.

SAURCHUC, C. et al. *Conservação e reúso da água em edificações*. São Paulo, Ed. Gráfica, 2005.

SCHEER, H. *O manifesto solar*. São Paulo, Cresesb/Cepel, 1995. p.105-33.

SEWELL, Granville Hardwick. *Administração e controle da qualidade ambiental*. São Paulo, Editora Pedagógica e Universitária, 1978.

"Sistema de aproveitamento de águas pluviais para usos não potáveis. Como construir", *in Técnica*, nº 144, mar 2009.

"Tecnologia para o reaproveitamento de água de chuva – Catálogo de produtos Aquastock". Disponível em: http://www.engeplas.com.br/catalogo_agua.pdf . Acesso em: 27 abr 2009.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. *Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água*. São Paulo, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Abes, 2001.

TURRINI, E. *O caminho do sol*. Petrópolis, Vozes, 1993.

UHLY, Steven et al. *A questão da água na grande Belém*. Belém, Casa de Estudos Germânicos, Fundação Heinrich Böll, 2004.