IV-131 - VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA EM HABITAÇÕES POPULARES DE SALVADOR, BAHIA

Ana Garcia [(1)]
Engenheira Sanitarista e Ambiental pela UFBA; Mestre e Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia industrial (PEI-UFBA); Técnica em Edificações (CEFET–BA); Pesquisadora da Rede de Tecnologias Limpas (TECLIM-UFBA); Engenheira na Empresa Baiana de Água e Saneamento S.A (EMBASA).
Luis Carlos Garcia
Engenheiro Civil pela UFBA; Técnico em Edificações (CEFET–BA); Coordenador de projetos prediais da UO-Ba/SOP/SG (Petrobras)
Kelly Fontoura
Socióloga, Mestre em Ciências Sociais e Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Sociais da Universidade Federal da Bahia (PPGCS/UFBA). Professora Substituta do Departamento de Sociologia da Universidade Federal da Bahia (FFCH/UFBA). Pesquisadora da Rede de Tecnologias Limpas (TECLIM/UFBA).
Fernanda Fontes
Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Católica de Salvador (UCSal)
Asher Kiperstok
Engenheiro Civil pelo TECHNION - Instituto Tecnológico de Israel, Mestrado e Doutorado em Engenharia Química/Tecnologias Ambientais pela Universidade de Manchester, Reino Unido, Coordenador do TECLIM - Rede de Tecnologias Limpas, Programa de Engenharia Industrial, Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

Endereço[(1)]: Rua Aristides Novis, nº 02, 4º andar. Escola Politécnica - Departamento de Engenharia Ambiental – TECLIM: Rede de Tecnologias Limpas. Federação. CEP 40210-630. Salvador – Bahia. Tel.: 3283-9892 / 3283-9798 - e-mail: apalmeida@ufba.br

RESUMO

O presente artigo objetiva avaliar a viabilidade econômica de um sistema de captação direta e aproveitamento de água de chuva para habitações populares em Salvador, Bahia. Assim como contribuir para ampliar as discussões sobre os aspectos associados ao incentivo e à implantação deste tipo de sistema. O padrão construtivo da edificação adotado como referência para realizar a simulação dos sistemas de captação e aproveitamento de água pluvial, baseou-se em informações sobre padrões de consumo em residências localizadas em Salvador, levantadas a partir de estudos realizados no município. As simulações do aproveitamento de água de chuva e análise econômica foram realizadas utilizando o programa NETUNO 3.0. A análise de viabilidade foi realizada por meio dos indicadores econômicos: Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). Análise de Sensibilidade também foi realizada, no sentido de avaliar o grau de influência nos indicadores de viabilidade de alterações no consumo total de água, na parcela do consumo de água destinada ao atendimento com o sistema de captação de água pluvial, na tarifa e no volume de reservatório adotado. Observou-se que a adoção do sistema tarifário com a cobrança de um valor fixo para consumos inferiores a 10m³, torna inviável, economicamente, a implantação de um sistema de captação de água de chuva, ou qualquer outro sistema para redução do consumo de água potável fornecida pela concessionária, para os padrões avaliados. No entanto, apenas a utilização de pagamento proporcional ao consumo, sem alterações no valor da tarifa, já tornou o sistema proposto economicamente viável para as taxas e custos adotados. A partir da Análise de Sensibilidade, observou-se que o item de maior impacto nos resultados econômicos dos sistemas foi o consumo de água, seguido da tarifa praticada e da parcela demanda cujo atendimento será feito com água pluvial, ambos com associação positiva com os indicadores adotados, VPL e TIR.

PALAVRAS-CHAVE: Captação de água de chuva, Viabilidade econômica, Residências de baixa renda, Tarifas.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, observa-se a dificuldade das concessionárias em atender a demanda por água, o que vem acarretando numa crise no sistema de abastecimento, principalmente em áreas urbanas. Desta forma, evidencia-se a necessidade de buscar alternativas capazes de reverter o estado atual de uso deste recurso e contribuam para o uso eficiente da água pela sociedade.

O século XX, no Brasil, caracterizou-se por um intenso processo de urbanização. Em 1940, 31% da população residiam em áreas urbanas, em 1980 esse percentual chegou a 68%. A taxa de urbanização do país que, em 1991, era de 76% passou para 81% em 2000 (IBGE, 2006). As grandes metrópoles brasileiras se formaram a partir de uma urbanização por expansão de bairros periféricos, sem planejamento, criando espaços segregados e desordenados, processo iniciado da década de 1940 e presente nos dias atuais, excluindo grande parte da população dos serviços urbanos (JACOBI, 1990 *apud* JULIÃO, 2003).

O crescimento da ocupação do solo associada ao processo de poluição tem comprometido o atendimento à demanda urbana a partir dos mananciais mais próximos, obrigando que o abastecimento das cidades seja feito a partir de pontos cada vez mais distantes. Segundo Vairavamoorthy e colaboradores (2008) existem dois aspectos importantes para o crescimento explosivo da demanda: 1) aumento da população associado ao crescimento econômico e do consumo per capita; e 2) crescente concentração da população nos centros urbanos.

Segundo Dixon e colaboradores (1999) a sustentabilidade urbana só será alcançada caso a sociedade se direcione no sentido do uso eficiente e apropriado da água. Neste sentido, muitos governantes já enfrentam a necessidade imediata de ajustes na gestão da água, realinhando suprimento e demanda com as fronteiras da sustentabilidade ambiental e disponibilidade hídrica (UNDP, 2006).

De modo geral, observa-se que o suprimento de água em áreas urbanas se concentra apenas em investimentos em novas redes de tratamento e distribuição de água. Por essa razão, inovações no setor relacionadas à gestão da demanda são escassas, e vistas frequentemente como paliativas (COHIM, 2008). No entanto, a sustentabilidade no uso dos recursos requer o empreendimento de ações complementes entre gestão da oferta e da demanda.

Entre as definições de gestão da demanda identificadas na literatura consulta, a mais abrangente é apresentada pelo *Department of Water Affairs and Forestry*, da África do Sul:

> "(...) adaptação e implementação de uma estratégia (políticas e iniciativas) por instituições que influenciem na demanda e uso da água para atingir objetivos como eficiência econômica, desenvolvimento social, igualdade social, proteção ambiental, sustentabilidade do suprimento de água e serviços e aceitabilidade política" (DWAF, 1999 *apud* VAIRAVAMOORTHY e MANSOOR, 2006, pg 184).

Dentro deste contexto, a substituição de fontes mostra-se como uma importante alternativa no atendimento de demandas menos restritivas. Vairavamoorthy e Mansoor (2006) e Salati e colaboradores (2002) afirmam que diante das projeções de crescimento da demanda, do aumento dos custos de construção, dos limitados recursos e fontes disponíveis, os custos dos investimentos futuros necessários em saneamento, em muitas cidades, tenderão a dobrar ou triplicar em relação aos custos atuais.

Devido aos índices de perdas nas concessionárias brasileiras, o volume de água a ser tratado e transportado é mais elevado do que aquele realmente consumido. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2012) os índices de perdas médios, no Brasil, durante os anos 1996 a 2010, esteve entre 36% e 40%. Nestes percentuais estão inseridas tantos as perdas físicas, quanto as aparentes. O SNIS avaliou, em 2010, 26 concessionárias regionais do serviço de abastecimento de água, e detectou que 12 destas empresas operaram com despesas superiores às receitas. Destas despesas, 69,3% correspondem às despesas com exploração, gastos associados às despesas com pessoal, produtos químicos, energia elétrica, entre outros.

Ainda segundo o SNIS, em 2010 a tarifa média praticada pelas empresas avaliadas foi de 2,14R$/m³, porém a despesa total por m³ faturado foi de R$2,06. Embora, a média nacional apresente um saldo positivo, ainda que pequeno, as médias das regiões Norte e Nordeste apresentam *defcit*, ou seja, a tarifa média praticada é inferior às despesas totais por m³ faturado. Usando como exemplo a Empresa Baiana de Água e Saneamento S.A – EMBASA - concessionária estadual, tem-se que a tarifa média praticada era de R$2,09/m³, enquanto a despesa total por m³ faturado era de R$2,37/m³, sendo que cerca de 13% deste valor é gasto com energia elétrica. A partir destes dados, e diante dos custos de implantação e operação de sistemas públicos de abastecimento de

água, a utilização de fontes substitutivas representa também uma alternativa vantajosa às concessionárias, permitindo que o recurso economizado seja empregado na modernização e eficiência do sistema.

Neto (2004) afirma que, apesar de milenar, a captação e utilização de água de chuva é uma tecnologia moderna quando associada a novos conceitos de técnicas construtivas e de segurança sanitária. Segundo Rebello (2004), caso seja implantado em larga escala, a captação direta da água de chuva pode, ainda, diminuir o escoamento superficial, amortecendo os picos de vazão durante as chuvas intensas. Porém, necessita-se do desenvolvimento e adoção de tecnologias para gerir este sistema com esta finalidade, associada à utilização predial da água coletada.

Ao realizar estudos sobre aproveitamento de água de chuva em residências, Athayde Júnior e colaboradores (2008) observaram que este seria economicamente viável apenas para residências de alto padrão e consumo e, que para o padrão popular, reservatórios de acumulação com capacidade reduzida apresentam maiores razões benefício/custo e menores períodos de retorno. Deste modo, os autores ainda indicam que, para cenários futuros, associados ao aumento de tarifas, a implantação desses sistemas representa uma alternativa economicamente viável independente do padrão residencial.

Atualmente, vários segmentos (construtores, usuários, gestores municipais, entre outros) enxergam os sistemas para captação e utilização de água de chuva como alternativa para redução do consumo de água do sistema público de abastecimento e/ou combate a enchentes. Todavia, a utilização destes sistema necessita de estudos acerca da eficiência no atendimento às demandas a que será destinado, adequação das instalações hidráulicas prediais, dimensionamento do sistema de captação, coleta e reservação, observando as características locais, evitando a implantação de projetos inadequados que comprometam os aspectos positivos da alternativa.

Diante deste cenário, o estudo descrito neste artigo visa avaliar a viabilidade econômica de um sistema de captação direta e aproveitamento de água de chuva para habitações populares em Salvador, Bahia, visando, com isso, contribuir para a ampliação das discussões sobre os aspectos associados ao incentivo e à implantação deste tipo de sistema. Pois, considera-se que a viabilidade da implantação de um sistema para captação e utilização de água de chuva dependerá do sistema proposto, consumo de água, demanda cujo atendimento será feito com água de chuva e tarifa de água adotada como referência. A seguir, discutiremos alguns destes aspectos.

Componentes do sistema de captação e utilização de água pluvial

O manejo das águas pluviais deve buscar aproveitar a água precipitada antes que ela entre em contato com substâncias contaminantes, armazenando-a para uso doméstico e criar condições de infiltração do excedente, restaurando os fluxos naturais reabilitando mais uma alternativa para abastecimento de água local e descentralizado (COHIM & KIPERSTOK, 2008). Portanto, um sistema de captação e utilização de água de chuva deve ser composto de (DTU, 2004; TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD, 2005):

- Superfície de captação: Telhados, pátios e outras áreas impermeáveis podem ser utilizados como superfície de captação. O tamanho desta está diretamente relacionado ao potencial de água de chuva possível de ser aproveitada, enquanto isso, o material da qual é formada influenciará na qualidade da água captada e nas perdas por evaporação e absorção. Os telhados são mais utilizados para captação devido a melhor qualidade da água que este fornece.
- Calhas e Tubulações: Utilizados para transportar a chuva coletada, podem ser encontrados em diversos materiais, porém os mais utilizados são em PVC e metálicos (alumínio e aço galvanizado).
- Tratamentos: O tipo e a necessidade de tratamento das águas pluviais dependerão da qualidade da água coletada e do seu destino final. As concentrações de poluentes, galhos, e outras impurezas nas águas pluviais são maiores nos primeiros milímetros da chuva, assim recomenda-se a não utilização dos mesmos. Diversos dispositivos já foram desenvolvidos e testados com este objetivo.
- Bombas e sistemas pressurizados: Estes dispositivos são usados quando os pontos de utilização estão em cotas superiores a do nível de água no reservatório principal. No entanto, vale ressaltar que durante a concepção do sistema de aproveitamento de água pluvial, deve-se buscar a utilização de reservatórios elevados e o encaminhamento da água coletada diretamente para este, quando possível evitando o bombeamento e aumentado assim a eficiência energética do sistema.

- Reservatórios: Na maioria dos casos, representa o item mais oneroso do sistema de captação e utilização de água pluvial. Seu custo pode representar entre 50% e 85% do valor total de um sistema de captação de água de chuva, assim sua escolha influencia diretamente na viabilidade econômica do mesmo (THOMAS, 2001).

O tamanho do reservatório para água pluvial dependerá de diversos fatores (DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT HERITAGE AND ABORIGINAL AFFAIRS, 1999; COHIM, GARCIA e KIPERSTOK, 2009), entre eles podemos listar:

- Regime de chuvas local: A média anual, distribuição destas durante o ano e a variação ano a ano serão decisivos no dimensionamento do reservatório. Altos índices pluviométricos e distribuições mais constantes das precipitações ao longo do ano permitem a utilização de menores volumes de reservação.
- Área de captação: A quantidade de água que poderá ser captada depende da área disponível, sendo este um dos parâmetros necessários para cálculo do reservatório.
- Demanda: A quantidade e o tipo de demanda serão fundamentais para determinar o tamanho do reservatório. Vários fatores devem ser observados como, por exemplo, população residente, hábitos de usos e tipos de consumo aos quais será destinada a água pluvial.
- Nível de Risco aceitável: O tipo de consumo a que será destinada a água de chuva e a existência de outras fontes para suprimento deste, implicará no grau de risco aceitável ao esvaziamento do reservatório influenciando no seu dimensionamento.

Através da revisão da literatura, identificaram-se diversos modelos e métodos para dimensionamento de reservatórios. Basicamente os modelos calculam o balanço entre a quantidade de chuva captada e a demanda para esta água, utilizando como parâmetros a precipitação local, a área de captação e o consumo. Contudo, observou-se a utilização de dados mensais, podendo ocasionar volumes superdimensionados de reservatórios, o que tornaria o sistema inviável, do ponto de vista econômico.

O estudo realizado por Cohim, Garcia e Kiperstok (2009), no qual se avaliou o potencial de aproveitamento de água de chuva em cinco municípios baianos, com regimes pluviométricos distintos, utilizando diferentes métodos para dimensionamento de reservatório de água pluvial, inclusive métodos empíricos sugeridos pela norma NBR 15527 (ABNT, 2007), que apresenta os requisitos para aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. Observou-se, a partir do método de simulação com dados diários de precipitação, que com pequenos reservatórios (entre 0,5 e 2,5m³) já se consegue ganhos significativos em economia de água para a maioria das cidades estudadas (redução do consumo de água do sistema público superior a 50%, exceto para a região semiárida). O mesmo estudo identificou que os métodos empíricos apresentam volumes bem diferenciados, para uma mesma região, resultando, em alguns casos, em grandes volumes de reservatórios.

Consumo de água, com foco em habitações de baixa renda.

Muitas pesquisas têm buscado relacionar a demanda residencial por água a variáveis socioeconômicas, climatológicas e a características do próprio imóvel. Todavia, a caracterização do consumo de água intrapredial representa um problema complexo em função do grande número de variáveis envolvidas. Memon e Butler (2006) afirmam que uma previsão precisa da demanda por água é essencial para definir as futuras necessidades de abastecimento de água e avaliar a sustentabilidade financeira das ações de gestão da demanda.

Segundo informações do SNIS (2012) o consumo de água médio per capita, no Brasil, para o ano de 2010, correspondeu a 159 l/hab.dia. Já na Bahia, este consumo per capita correspondia a 120,3 l/hab.dia. Mas, ao observar o consumo per capita em Salvador, nota-se que este foi mais elevado que o do estado, correspondendo a 153 l/hab.dia.

Segundo dados do censo de 2010, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mais de 60% dos domicílios das principais regiões metropolitanas do Brasil possuem renda domiciliar até cinco salários mínimos. Assim, estudar o consumo destas residências significa buscar desvendar os fatores que interferem na demanda por água de mais da metade da população urbana. No entanto, são poucos os pesquisadores dedicados à avaliação do consumo de populações de baixa renda.

Dentre os identificados, os estudos realizados por Dantas e outros (2006) e Ywashima e outros (2006) avaliaram o consumo de água em habitações de interesse social localizadas em Itajubá/MG e Paulínia/SP,

respectivamente, utilizando metodologia similar, que consistia no acompanhamento do consumo domiciliar e avaliação dos hábitos de uso na residência através de entrevistas com os moradores. O consumo mensal para os domicílios de Itajubá (DANTAS *et al*, 2006) correspondia a 11,6m³, enquanto o consumo per capita a 117 l/hab.dia, em média. Para as residências de Paulínia (YWASHIMA *et al*, 2006) os valores encontrados para o consumo mensal residencial e per capita, foram, respectivamente, 12m³ e 113 l/hab.dia.

Em estudo realizado em Belo Horizonte (DIAS *et al*, 2010), os pesquisadores relacionaram renda e consumo doméstico, e identificaram que o consumo médio de água per capita diário correspondia a 113litros e 129 litros para as classes socioeconômicas E/D e C, respectivamente.

Já estudos realizados em Salvador e Região Metropolitana identificaram que o consumo de água nas residências avaliadas ficava em torno dos 10m³ mensais, representando um consumo per capita de aproximadamente 100 litros diários (COHIM, GARCIA & KIPERSTOK, 2008; GARCIA, 2011; MAGALHÃES *et al*, 2012).

O preço da água

A lei Nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007) que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento, no artigo 29, estabelece que a sustentabilidade econômico-financeira dos serviços públicos de saneamento deve ser assegurada sempre que possível, mediante a cobrança pelos serviços prestados, preferencialmente através de tarifas e outros preços públicos para o abastecimento de água e esgotamento sanitário. Conforme o artigo citado, esta cobrança deve atender a diretrizes como: Prioridade para atendimento das funções essenciais relacionadas à saúde pública; Ampliação do acesso dos cidadãos e localidades de baixa renda aos serviços; Geração dos recursos necessários para realização dos investimentos, objetivando o cumprimento das metas e objetivos do serviço; Remuneração adequada do capital investido e recuperação dos custos incorridos na prestação do serviço e inibição do consumo supérfluo e do desperdício de recursos, entre outros.

No artigo 30 da lei supracitada (BRASIL, 2007) são definidos quais fatores podem ser considerados na definição do valor da tarifa. Entre eles têm-se: categorias de usuários, distribuídas por faixas crescentes de consumo; quantidade mínima de consumo ou de utilização do serviço, visando à garantia de objetivos sociais como a preservação da saúde pública, o adequado atendimento dos usuários de menor renda e a proteção do meio ambiente; custo mínimo necessário para disponibilidade do serviço em quantidade e qualidade adequadas e capacidade de pagamento dos consumidores.

Gomes e Figueiredo Júnior (2011) ao estudar um modelo de tarifa de água que garanta a sustentabilidade do sistema público de abastecimento, a partir de critérios financeiros, econômicos, sociais e ambientais, simularam qual o valor de tarifa média necessária para a cidade de Natal no Rio Grande do Norte. Os autores identificaram que o valor necessário representava 2,38 vezes o que era cobrado, concluindo assim, que a tarifa média praticada não permitia a sustentabilidade financeira da empresa.

A maioria das companhias de água e esgoto brasileiras adota a cobrança progressiva da tarifa de água variando de acordo com o consumo, ou seja, o valor por m³ aumenta à medida que aumenta o consumo. Esta forma de cobrança busca induzir o uso eficiente da água, ou seja, visa reduzir o uso perdulário deste recurso natural. Assim, quem consome mais pagaria mais por m³. Outra prática bastante comum é a determinação de um volume mínimo faturado, assim, para consumos até este valor, é cobrada uma taxa fixa. O volume mínimo mais adotado é de 10 m³. Com isso, ainda que o domicílio utilize 5m³ de água em um mês o volume cobrado em sua fatura será de 10 m³.

Diante destas características da estrutura tarifária praticada, a determinação do valor da conta de água e esgoto é realizada através de um cálculo em cascata, no qual o volume utilizado em cada faixa de consumo é cobrado segundo uma tarifa correspondente àquela faixa.

O gráfico da Figura 1 foi produzido a partir da tarifa praticada pela EMBASA em abril de 2013 para residências normais. Neste período, a tarifa mensal mínima de água, equivalente a um consumo até 10m³/mês, era R$17,65. Neste gráfico, pode-se identificar duas regiões distintas na curva do valor médio pago por m³ consumido. À esquerda, para consumos até 10m³ por mês, faixa onde é cobrada tarifa mínima constante, o valor pago por m³ cai de R$17,65 a R$1,77. À direita, para consumos a partir 10m³ por mês, faixa da tarifa progressiva, o valor pago por m³ aumenta gradativamente atingindo o valor de R$ 6,8/m³ para 70 m³/mês.

Com base na curva apresentada, observa-se que um domicílio onde o consumo de água fica dentro da faixa de tarifa mínima poderá pagar pelo m³ utilizado o mesmo valor daquele que possui consumo acima desta faixa. Por exemplo, para um domicílio que consome 5 m³/mês (dentro da faixa de consumo mínimo) o valor do m³ é o mesmo daquele cobrado para o consumo de 20m³ /mês.

Como o valor mensal a ser pago será mantido em R$17,65 até os 10 m³/mês, ainda que os moradores adotem padrões mais eficientes de uso, não percebem este esforço recompensado em sua conta de água. Ou seja, o sistema tarifário adotado por grande parte das concessionárias estaduais de saneamento, ao cobrar um valor fixo para um consumo até 10m³/mês, promove o desperdício ao invés do uso eficiente.

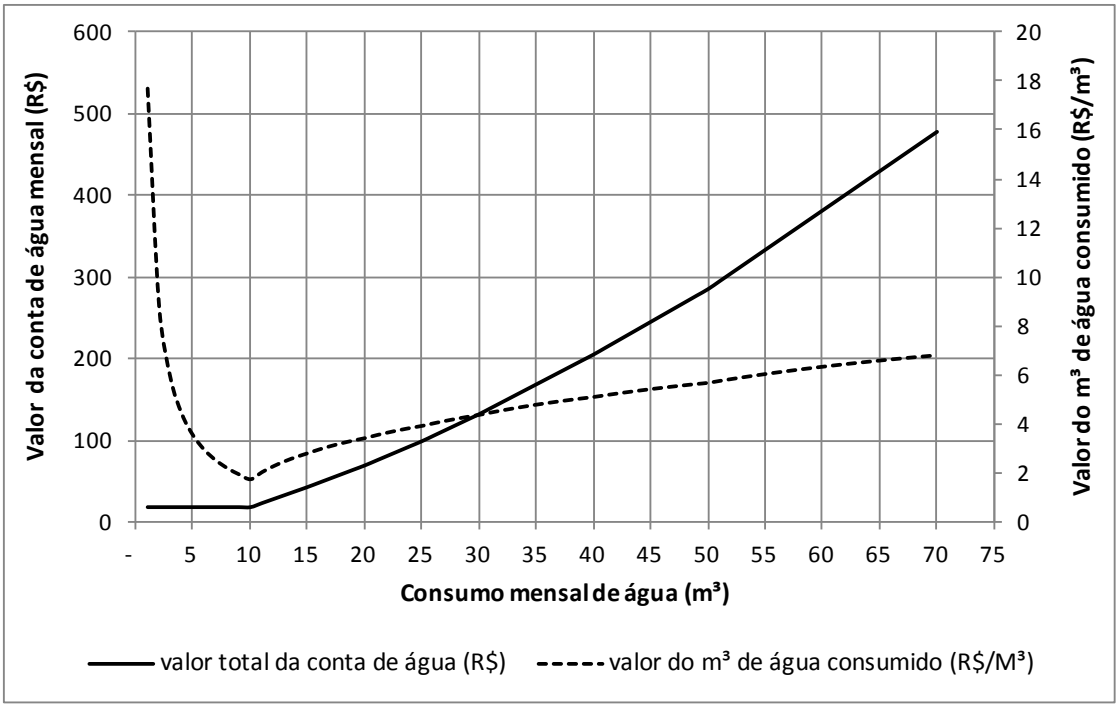

Figura 1. Valor da conta de água e do m³ de água consumido, segundo consumo mensal de água.
Fonte: Tarifas da EMBASA

A partir destas considerações, pode-se argumentar que o consumo abaixo de 10m³ seja realidade de poucos domicílios, porém, muitos estudos apontam relação positiva entre renda e consumo de água. Aqueles que avaliaram especificamente populações de baixa renda indicam que estes geralmente consomem próximo desta faixa 10m³ e conforme já discutido, representam parte significativa da população urbana.

Segundo dados do Censo realizado pelo IBGE em 2010, 59% dos domicílios possuem até três moradores. Analisando sob o ponto de vista apresentado Kiperstok e Garcia (2011), combinando o percentual de domicílios com até três moradores e faixas de consumo entre 80 e 150 litros diários por pessoa, encontraríamos consumos residenciais variando entre 2 e 14m³/mês. A última faixa de consumo, no caso, corresponderia aos limites máximos avaliados, ou seja, três moradores e um consumo per capita de 150 litros diários, nas demais combinações, cujo consumo per capita se aproxima daqueles identificados para regiões de baixa renda, e conforme já discutido neste artigo, representa parte significativa da população urbana, corresponderia a consumos inferiores a 10m³/mês.

Almeida (2007) ao avaliar o consumo residencial de água em Feira de Santana, município baiano com aproximadamente 557 mil habitantes, segundo em população, ficando abaixo apenas da capital Salvador, verificou que 42% dos domicílios consomem até 10m³/mês.

Gomes e Figueiredo Júnior (2011) sugerem a cobrança de tarifas diferenciadas, segundo as classes socioeconômicas da população, de forma que houvesse o subsídio, reduzindo a tarifa para usuários de baixa renda (classes D e E), que seria financiado pela cobrança de tarifas maiores às classes de mais alta renda (A e

B). Conforme identificado pelos próprios autores, esta forma de cobrança seria difícil de ser implementada, pois dependeria do recadastramento dos usuários em faixas socioeconômicas e da definição de critérios para esta classificação. O que demandaria uma grande capacidade de gestão e atualização de cadastro por parte das concessionárias.

Uma medida sugerida por Kiperstok e Garcia (2011) seria a cobrança do valor proporcional ao consumo, para todas as faixas, não mais cobrando o valor fixo para o consumo abaixo de 10m³/mês. Estes propõem ainda que

> "Uma possível queda na arrecadação, provocada por esta medida indutora de um uso mais racional da água, poderia ser compensada com o aumento no valor do m³ nas faixas de maior consumo. Isto representaria uma segunda medida de indução no sentido desejado (o uso racional da água)" (KIPERSTOK e GARCIA, 2011, p. 21).

Enfim, são muitos os conceitos e variáveis associados à determinação da tarifa de água. Evidencia-se a necessidade da discussão de mudanças na forma de cobrança atualmente adotada, permitindo que as diretrizes associadas à elaboração da tarifa sejam atendidas, entre elas a inibição do consumo supérfluo e do desperdício e a sustentabilidade, tanto financeira quanto ambiental dos sistemas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se neste estudo a análise econômica para um sistema de captação direta de água de chuva, utilizando informações de estudos realizados em Salvador, Bahia, voltados a habitações de famílias com baixa renda. O padrão construtivo da edificação adotada para estudo de caso baseia-se nas residências unifamiliares localizadas em condomínio construído para população de baixa renda no subúrbio ferroviário de Salvador, consistindo em dois pavimentos. No térreo localiza-se a sala, cozinha, sanitário e na parte superior encontram-se os dois dormitórios. O imóvel possui 86m² de área construída, enquanto a área de telhado corresponde a 48,2m².

Para as simulações do aproveitamento de água de chuva e análise econômica foi adotado o programa NETUNO 3.0 (GHISI *et al*, 2009). O programa permite a inserção de dados diários de precipitação e informações de demanda per capita de água variáveis. Foram utilizados os dados diários precipitação de 2002 a 2011, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMET).

Para as simulações foram adotados como referência os resultados identificados nos estudos realizados por Cohim e colaboradores (2008), Garcia (2011) e Magalhães e colaboradores (2012) ao avaliar residências de baixa renda localizadas em Salvador. Estes identificaram que o consumo de água nas residências avaliadas ficava em torno dos 10m³ mensais, representando um consumo per capita de aproximadamente 100 litros diários.

O estudo relatado por Magalhães e colaboradores (2012), ao avaliar o consumo de 150 residências localizadas no subúrbio ferroviário de Salvador, em bairro vizinho ao das residências adotadas como estudo de caso, identificou variações na série anual, associadas à sazonalidade, com picos de consumo nos meses quentes de verão (Janeiro-Abril) e uma tendência decrescente no consumo nos meses mais frios (Junho-Outubro), indicando a forte influência do clima e dos hábitos culturais associados a esses períodos. Esta variação no consumo, representados pelos índices de sazonalidade do modelo utilizado, foi incorporada na definição da demanda variável adotada nas simulações.

Para definição da parcela do consumo atendida com o sistema de aproveitamento de água pluvial foram adotados como referência os percentuais de consumo por uso apresentados por Almeida (2007), Cohim e colaboradores (2008) e Silva e colaboradores (2012), considerando assim que, inicialmente, 50% do consumo poderiam ser destinados à água de chuva, o que corresponderia à descarga da bacia sanitária, lavagem de roupas e torneiras externas.

Também considerou-se intervenções em habitações já existentes, incluindo, portanto, a construção de base em concreto armado, para apoiar o reservatório para armazenamento da água de chuva. Buscando avaliar a viabilidade sob o ponto de vista do usuário, buscou-se o modelo mais comum de estrutura para elevação do reservatório.

O custo do sistema foi obtido considerando os preços de materiais e mão de obra, praticados em Salvador, para instalação de calhas, adaptações nas instalações hidráulicas prediais, reservatório de água de chuva em fibra de vidro elevado por base de concreto.

Admitindo a inexistência de sistema de bombeamento, dado o sistema concebido apenas com reservatório superior alimentado direto pelas calhas coletoras da água pluvial do telhado, os custos de operação e manutenção foram estimados em R$ 20 anuais, considerando que tais atividades serão realizadas pelo próprio usuário.

O benefício do investimento foi considerado como o resultante do atendimento à demanda para água de chuva, o transformado em economia na conta de água, com base nas tarifas cobradas pela concessionária local.

Para a avaliação econômica, inicialmente, adotou-se o modelo tarifário praticado pela concessionária estadual, a EMBASA, com cobrança de taxa fixa para consumos inferiores a 10m³, faixa adotada nas simulações. Com isso o investimento mostrava-se inviável economicamente, pois a implantação do sistema, embora reduzisse o consumo de água da rede pública, não representaria redução do valor pago à concessionária. Assim sendo, para as simulações foi adotada tarifa progressiva mesmo na faixa de consumo até 10 m³, adotando como valor de referência a taxa fixa dividida por 10m³, o que corresponde a R$ 1,77/m³. Para as demais faixas de consumo foram adotadas os valores praticados pela concessionária.

Utilizaram-se como indicadores econômicos o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). O Valor Presente Líquido (VPL) é definido como o somatório dos valores presentes dos fluxos estimados de um investimento, calculados a partir de uma taxa dada e de seu período de duração. O investimento é considerado viável se apresentar um VPL positivo. Caso o VPL encontrado no cálculo seja negativo, o retorno do projeto será menor que o investimento inicial, sugerindo que ele seja reprovado (KASSAI, 1996). A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de desconto que iguala, num único momento, os fluxos de entradas com os de saídas de caixa. Para definir se um investimento é viável sua TIR deve ser comparada a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) que representa o custo de oportunidade dos recursos utilizados para implantação e manutenção do novo investimento. Para pessoas físicas os rendimentos da poupança é um referencial que pode ser utilizado como TMA em seus investimentos (KASSAI, 1996).

Realizou-se também, Análise de Sensibilidade que consiste em avaliar o grau de variação dos resultados e dos indicadores de viabilidade de um determinado projeto diante da variação de suas variáveis mais importantes. Para as simulações foi avaliada a influência de alterações no consumo total de água além de alterações na parcela do consumo de água destinadas ao atendimento com o sistema de captação de água pluvial. Assim como, estimadas as variações nos indicadores de viabilidade econômica associadas a alterações na tarifa e no volume de reservatório adotado.

Os fluxos de caixa foram construídos para um período de 20 anos, analisando mensalmente, adotando como referência os valores de inflação e rendimento da poupança para os últimos 12 meses anteriores à elaboração do artigo, ou seja, 0,48%a.m e 0,45%a.m, respectivamente, conforme dados disponibilizados nos sites do Banco Central do Brasil e do IBGE.

RESULTADOS

Para as simulações iniciais, adotadas como referência para as simulações posteriores, considerando consumo per capita médio de 100litros diários por habitante, do qual 50% poderia ser destinado a utilização de água pluvial, área de captação de 48,2m², três habitantes por domicílio e dados diários de precipitação de Salvador dos últimos 10 anos, tem-se que, do consumo total, 31% poderia ser atendido com a utilização de um reservatório de 1m³, conforme figura 2.

Para a avaliação econômica, inicialmente, adotou-se o modelo tarifário praticado pela concessionária estadual, a EMBASA, com cobrança de taxa fixa para consumos inferiores a 10m³, faixa adotada nas simulações. Com isso o investimento mostrava-se inviável economicamente, pois a implantação do sistema, embora reduzisse a demanda por água da rede pública, não representaria redução do valor pago à concessionária. Porém, adotando tarifa progressiva, mesmo na faixa de consumo até 10 m³, e os custos e taxas especificadas na metodologia o sistema apresentou VPL e TIR de R$ 20,9 e 0,44%, respectivamente. Embora os valores encontrados estejam bem próximos aos limites, como uma TMA de 0,45%, pode-se inferir que o sistema é economicamente viável.

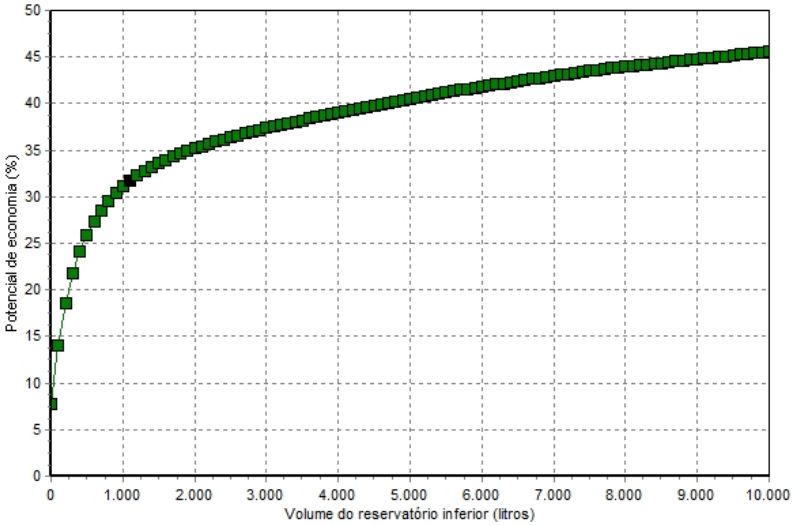

Figura 2. Resultados da simulação: Potencial de economia de água potável segundo Volume do reservatório adotado

Na figura 3, que resume os resultados da análise de sensibilidade, é importante observar como a curva se comporta com a variação do eixo horizontal. As variáveis associadas às curvas que apresentam maiores declividades, positiva ou negativa, merecem atenção especial, pois a variação no valor esperado resultará em maiores reflexos no resultado da viabilidade do sistema implantado.

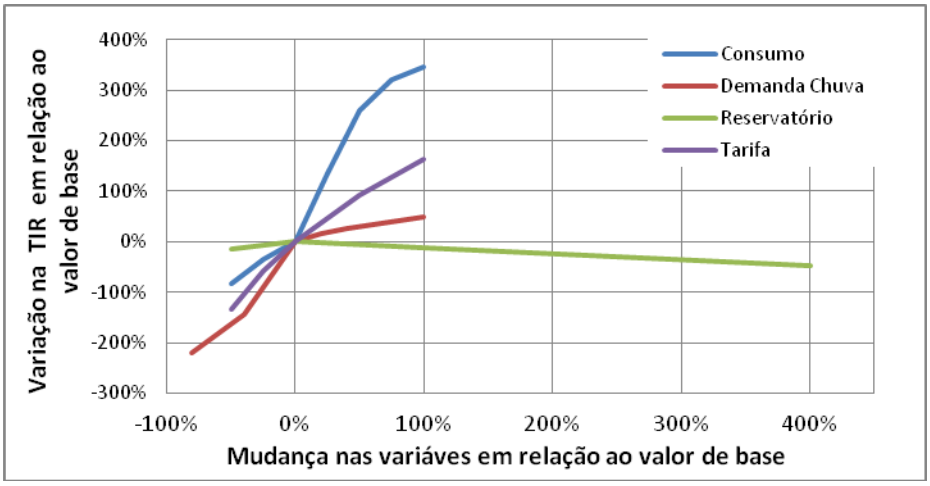

Figura 3. Resultados da Análise de sensibilidade. Influencia das variáveis analisadas na TIR

A partir da figura 3, pode-se observar que as variáveis consideradas apresentam graus de influência e comportamento diferentes quando consideradas faixas superiores ou inferiores aos valores de referência, adotados na simulação inicial, dada à associação não linear entre as variáveis.

De forma geral, verifica-se que o item de maior impacto nos resultados econômicos dos sistemas, de acordo com a análise de sensibilidade, foi o consumo de água, apresentando associação positiva com os indicadores VPL e TIR, adotados para a análise. Ou seja, o sistema será mais viável para faixas de consumo per capita superior a 100 litros diário, conforme figura 3 e tabela 1.

Quando avaliado uma faixa de consumo per capita de 150 litros diários, próximo ao consumo médio de Salvador, segundo o SNIS (2012) a TIR corresponderia a 1,66%, valor bem superior a TMA adotada para a análise, sugerindo que o sistema é economicamente viável, para as condições simuladas.

Tabela 1. Volume ideal de reservatório e TIR segundo consumo per capita adotado

Consumo per capita (litros/hab.dia)	50	75	100	125	150	175	200
Volume ideal (litros)[1]	900	1000	1100	1100	1100	1200	1200
TIR (%)[2]	0,08	0,3	0,46	1,08	1,66	1,93	2,05

[1] Admitindo variação entre as demandas atendidas pelo volume adotado e o subsequente inferior a 2%
[2] Mantendo a variação do consumo per capita ao longo do ano (sazonalidade) adotada nas simulações iniciais, que 50% do consumo poderiam ser atendidos com água de chuva e volume de reservação constante e igual a 1.000litros.

A segunda variável de maior impacto foi a tarifa praticada, considerando fixa a faixa de consumo em torno de 10m³ e pagamento proporcional ao consumo. Conforme relatado, a adoção do sistema tarifário adotado pela maioria das concessionárias brasileiras de água, incluindo a que opera na Bahia, com a cobrança de um valor fixo para consumos inferiores a 10m³, tornaria inviável economicamente a implantação de um sistema de captação de água de chuva, ou qualquer outro sistema para redução do consumo de água potável fornecida pela concessionária.

Conforme Gomes e Figueiredo Júnior (2011) o valor de tarifa de água que garantisse a sustentabilidade financeira do sistema representava 2,38 vezes o valor de tarifa média praticada. Cenários de elevação da tarifa para a faixa até 10m³ tornaria o sistema simulado mais viável. Um incremento de 50% no valor da tarifa praticada duplicaria a TIR do investimento.

Conforme tabela 2, a parcela da demanda disponibilizada para atendimento com água de chuva também apresenta associação positiva com a TIR. Resultados semelhantes foram identificados por Cohim e Garcia (2011). Os autores identificaram que quanto maior a parcela da demanda destinada para água de chuva menor o custo do metro cúbico produzido pelo sistema, independentemente do volume do reservatório adotado.

Esta característica se deve a maior eficiência no aproveitamento do volume de armazenamento, pois quanto maior o consumo de água de chuva, mais espaço disponível para receber novas águas, aumentando com isso a parcela efetivamente substituída.

Tabela 2. Influencia da parcela destinada para água de chuva no volume ideal de reservatório

Parcela da demanda disponibilizada para atendimento com água de chuva[1]	10%	30%	50%	60%	70%	100%
Volume de reservatório ideal (litros)[2]	500	1000	1100	1100	1100	1200
Parcela da demanda total substituída[3]	9,3%	23,4%	31,7%	34,1%	36,1%	40,5%

[1] Mantendo a variação do consumo per capita ao longo do ano adotada nas simulações iniciais cuja média corresponde a 100 litros diários por habitante.
[2] Admitindo variação entre as demandas atendidas pelo volume adotado e o subsequente inferior a 2%
[3] Fixando o volume de reservação em 1.000litros.

A partir da análise dos resultados das simulações tem-se que aumentado o volume de reservação, o usuário terá um incremento sempre crescente no investimento a ser realizado. Entretanto, a redução no consumo de água e no valor da conta pago à concessionária, não crescem na mesma proporção.

Para as condições simuladas, variando o consumo per capita (tabela 1), ou ainda, a faixa do consumo destinada a água de chuva (tabela 2), observa-se que os volumes de reservação ideais, admitindo variação entre as demandas atendidas pelo volume ideal e o subsequente inferior a 2%, ficaram em torno de 1000 litros.

Esta característica reflete-se nas curvas da figura 2 e da figura 3, associadas à influência do volume do reservatório no atendimento da demanda de água e no comportamento dos indicadores adotados para avaliação econômica, respectivamente.

Reservatórios inferiores ou superiores a 1.000 litros apresentaram valores de TIR inferiores ao de referência. Volumes de reservatórios, inferiores ou superiores a 1.000 litros, apresentaram valores de TIR inferiores a TMA, indicando a inviabilidade econômica do sistema.

O volume encontrado como ideal, é semelhante àquele identificado por Cohim e Garcia (2011) ao avaliar sistemas para populações de baixa renda, cujos padrões simulados aproximam-se daqueles adotados neste estudo, embora com área de captação bem superior (100m²).

Estes resultados representam um indicativo de volume de reservatório que poderia ser adotado em habitações populares em Salvador, cujo padrão de consumo se aproxima daqueles simulados neste artigo, visando à difusão dos sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva para usos não potáveis, e consequentemente, redução da demanda por água nos sistemas públicos, permitindo o direcionamento deste recurso para usos mais nobres para uma parcela maior da população.

CONCLUSÕES

A partir dos custos e taxas adotados o sistema de captação de água de água chuva projetado para uma habitação unifamiliar com consumo mensal de aproximadamente 10m³, composto por reservatório de 1m³, elevado por base de concreto, sem a utilização de sistema elevatório, apresentou VPL e TIR de R$ 20,9 e 0,44%, respectivamente. Embora os valores encontrados estejam bem próximos aos limites, como uma TMA de 0,45%, pode-se inferir que o sistema é economicamente viável.

Com base nos resultados encontrados, pode-se afirmar que o item de maior impacto nos resultados econômicos dos sistemas, de acordo com a análise de sensibilidade, foi o consumo de água, seguido da tarifa praticada e da parcela demanda, cujo atendimento será feito com água de chuva, ambos com associação positiva com os indicadores adotados, VPL e TIR. A partir da análise de sensibilidade, identifica-se que a diversificação dos usos (demanda que pode ser atendida com água de chuva) aumenta a eficiência do sistema de aproveitamento de chuva.

A tarifa tem um papel importante na viabilidade econômica, pois nota-se que a adoção do sistema tarifário com a cobrança de um valor fixo para consumos inferiores a 10m³ tornaria inviável economicamente a implantação de um sistema de captação de água de chuva, ou qualquer outro sistema para redução do consumo de água potável fornecida pelo sistema público. Apenas a utilização de pagamento proporcional ao consumo, sem alterações no valor da tarifa já tornaria o sistema proposto economicamente viável para as taxas adotadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT (2007). NBR 15527: Água de chuva: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: Requisitos. Rio de Janeiro. 11p.
2. ALMEIDA, G. Metodologia para caracterização de efluentes domésticos para fins de reúso: estudo em Feira de Santana, Bahia. 2007. 180p. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo) -- Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.
3. ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; DIAS I. C. S.; GADELHA, C. L. M.. Viabilidade econômica e aceitação social do aproveitamento de águas pluviais em residências na cidade de João Pessoa. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 85-98, abr./jun. 2008. ISSN 1678-8621
4. BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.
5. COHIM, E. Hierarquia da qualidade da água. CONGRESSO INTERAMERICANO AIDIS, 31. 2008. Anais... Santiago: AIDIS, 2008
6. COHIM, E.; GARCIA, A. Análise econômica da utilização de água de chuva. CONGRESSO INTERAMERICANO AIDIS, 32. Anais. 210. Punta Cana: AIDIS. 2010.
7. COHIM, E.; GARCIA, A..; KIPERSTOK. Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios. Anais... IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Salvador, 2009.
8. COHIM, E.; GARCIA, A..; KIPERSTOK. Caracterização do consumo de água em condomínios para população de baixa renda: estudo de caso. CONGRESSO INTERAMERICANO AIDIS, 31. 2008. Anais... Santiago: AIDIS, 2008
9. COHIM, E.; KIPERSTOK, A. Racionalização e reuso de água intradomiciliar. Produção limpa e eco-saneamento. KIPERSTOK, Asher (Org.) Prata da casa: construindo produção limpa na Bahia. Salvador: 2008
10. DANTAS, C. T.; UBALDO JR, L.; POTIER, A. C.; ILHA, M. S. DE O. Caracterização do uso de água em residências de interesse social em Itajubá. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 11, 2006, Florianópolis. Anais... v. 1, p.3337-3344, Florianópolis: ENTAC, 2006.

11. DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT HERITAGE AND ABORIGINAL AFFAIRS. Rainwater tanks: their selection, use and maintenance. South Australian Government, 1999. Disponível em: <www.eng.warwick.ac.uk/ircsa/factsheets/AustraliaRainwater.pdf>.
12. DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; LIBANIO, M.. Avaliação do impacto da variação da renda no consumo domiciliar de água. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 15, n.2, p. 155-166, 2010.
13. DIXON, A.; BUTLER, D.; FEWKES, A. Water saving potential of domestic water reuse systems using greywater and rainwater in combination. Water Science & Technology: Options for closed water systems: Sustainable water management. V. 39, N. 5, 1999. IAWQ. Londres, 1999.
14. DTU - Development Technology Unit. Domestic Roofwater Harvesting in the Humid Tropics. School of Engineering, University of Warwick. Reino Unido, 2001. Disponível em: <www.eng.warwick.ac.uk/dtu/rwh/eu.html>
15. GARCIA, Ana. Fatores associados ao consumo de água em residências de baixa renda. 122 p. il. 2011. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.
16. GHISI, E.; CORDOVA, M. M.; ROCHA, V. L. Netuno 3.0: aproveitamento de água pluvial. Programa computacional. 2009. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br>. Acesso em: 23 de out. 2011.
17. GOMES, H. P.; FIGUEIREDO JÚNIOR, J. V. de. Custo da Água com vista à Sustentabilidade dos Sistemas Urbanos de Abastecimento. DAE, n. 185, p. 40-45, jan. 2011.
18. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATSITICA – IBGE. Estatísticas do Século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.
19. JULIÃO, F. C. Água para consumo humano e saúde: ainda uma iniqüidade em área periférica do município de Ribeirão Preto. 2003. 76p. Dissertação (Mestrado em Enfermagem em Saúde Pública). Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2003.
20. KASSAI, José Roberto. Conciliação entre a TIR e ROI: uma abordagem matemática e contábil do retorno do investimento. *Cad. estud.* [online]. 1996, n.14, pp. 1-29. ISSN 1413-9251.
21. KIPERSTOK , A.; GARCIA, A. . Mudanças Climáticas e o Abastecimento de Água: uma reflexão sobre o papel da gestão da demanda na Bahia. Revista Bahia Análise & Dados, v. 21, p. 465-480, 2011
22. MAGALHÃES, G. L.; FERREIRA, L. S.; GARCIA, A; KIPERSTOK, A.; OLIVEIRA-RODRIGUEZ, K. P. S. Análise exploratória do consumo de água em residências de baixa e média renda em Salvador, Bahia. Anais... *In*: XXXIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Salvador, 2012.
23. MEMON, F. A.; BUTLER, D. Water consumption trends and demand forecasting techniques. BUTLER, D.; ALI MEMON, F. (Ed.). Water Demand Management. London: IWA Publishing, 2006. cap. 2. ISBN 1-843390-78-7
24. REBELLO, G. Conservação de água em edificações: estudo das características de qualidade da água pluvial aproveitada em instalações prediais residenciais. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental). São Paulo: 2004. IPT.
25. SALATI, E,; LEMOS, H.M.; SALATI, E. Água e o desenvolvimento sustentável. REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Org) Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.. 2 ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2002. Capítulo 2, p.39-62
26. SILVA, F. A. A.; BOTELHO, G. L. P.; GARCIA, A.; BASTOS. A. C. V.; OLIVEIRA-RODRIGUEZ, K. P. S. Caracterização da distribuição do consumo domiciliar de água por usos e equipamentos. Anais... XXXIII Congresso Interamericano de Engenharia sanitária e Ambiental. Salvador, 2012.
27. SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2010. Brasília: MCIDADES/ SNSA, 2012.
28. TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD. The Texas Manual on Rainwater Harvesting. Ed. 3. Texas, 2005.
29. UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME - UNDP. Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis. New York: UNDP, 2006. (Human Development Report 2006). ISBN O-230-50058-7
30. VAIRAVAMOORTHY, K; MANSOOR, M. A. M. Demand Management in developing countries. BUTLER, D.; ALI MEMON, F. (Ed.). Water Demand Management. London: IWA Publishing, 2006. cap.8. ISBN 1-843390-78-7
31. YWASHIMA, L. A.; CAMPOS, M. A. S.; PIAIA, E.; M P DE LUCA, D.; ILHA, M. S. de O. Caracterização do uso da água em residências de interesse social em Paulínia. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 11, 2006, Florianópolis. Anais... v. 1, p. 3470-3479, Florianópolis: ENTAC, 2006