2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO DE REDIRECIONAMENTO DE ÁGUA FRIA QUE SERIA DESPERDIÇADA NO BANHO[1]

Ioris, Marcelo D. (1); Ghisi, Enedir (2)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, marcelo.ioris@posgrad.ufsc.br
(2) Universidade Federal de Santa Catarina, enedir.ghisi@ufsc.br

RESUMO

Em apartamentos onde a água é aquecida por aquecedores a gás, há desperdício de água por conta dos grandes comprimentos de tubulação entre os pontos de consumo e o aquecedor. A água contida nesta tubulação sofre perdas térmicas e, por estar fria, é desperdiçada pelos usuários. Este trabalho analisa a implantação e viabilidade econômica de um sistema automatizado que evita este desperdício redirecionando a água para um reservatório que garanta posterior utilização. Primeiramente, estimaram-se os desperdícios por meio de projetos hidrossanitários. Com base nos comprimentos de tubulação entre os chuveiros e os aquecedores foi possível quantificar que, em média, 6,95 litros de água ficam em repouso nas tubulações. Em oito apartamentos foi possível medir os desperdícios por meio da coleta de água nos segundos iniciais de um banho. Observou-se que 9,28 litros de água são desperdiçados até que a temperatura da água atinja 30°C. O sistema automatizado foi validado por meio de um protótipo. A análise econômica foi simulada com a instalação do sistema em um ou dois chuveiros por apartamento. O sistema automatizado para evitar o desperdício da água fria inicial do banho se mostrou economicamente viável dependendo das condições adotadas.

Palavras-chave: Aquecedor de passagem a gás. Reservatório inferior. Água fria. Água quente. Viabilidade econômica.

ABSTRACT

In flats where there are instantaneous gas heaters to heat water there is waste of cold water due to the large lengths of pipes between the water fixtures and the heater. The water in such pipes suffers thermal losses and is wasted while users wait for hot water. This paper analyses the economic feasibility of implementing an automated system that saves such cold water by redirecting it to a potable water tank. Firstly, the amount of water that would be wasted was estimated by analysing plumbing designs. Based on the lengths of pipes between the showerheads and the heaters, it was possible to quantify that, on average, 6.95 litres of water remain in the pipes. In eight flats it was possible to measure wastes by collecting cold water at the beginning of a hot shower. It was observed that 9.28 litres of water are wasted until the water temperature reaches 30°C. The automated system was validated by means of a prototype. It was considered the installation of the system in one or two

[1] Ioris, Marcelo D.; Ghisi, Enedir. Viabilidade da implementação de um sistema automatizado de redirecionamento de água fria que seria desperdiçada no banho.In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

showerheads per flat. The automated system to save the cold potable water is economically feasible under the conditions adopted.

Keywords: Instantaneous gas heaters. Water storage tank. Cold water. Hot water. Economic feasibility.

1 INTRODUÇÃO

A NBR 13103 (ABNT, 2013) recomenda que a instalação dos aparelhos convencionais de aquecimento a gás seja feita em locais com adequada ventilação. Esta recomendação faz com que as residências sejam projetadas de modo que os aparelhos sejam instalados nas áreas de serviço ou externamente às edificações. Consequentemente, esta conformação estabelece geralmente que os comprimentos de tubulação de água quente da fonte aquecedora até os aparelhos sanitários, principalmente chuveiros, sejam elevados. A água que fica acumulada na tubulação entre os pontos de consumo e o sistema de aquecimento, com o passar do tempo, sofre perdas térmicas e, por não atingir o ponto de consumo a uma temperatura desejada pelo usuário, acaba sendo desperdiçada a uma temperatura considerada baixa para o fim desejado.

Por meio de uma análise de traços de vazão de 26000 eventos de banho, Lutz (2005) concluiu que, em média, 13,17 litros de água são desperdiçados por banho. Os dados foram obtidos de residências de doze cidades dos Estados Unidos e Canadá durante os meses de verão e inverno. Lutz (2011) foi um dos primeiros pesquisadores a coletar os dados de desperdício diretamente no local de uso de água quente. Por meio de um monitoramento de vazão e temperatura durante eventos de banho em três residências unifamiliares na Califórnia durante os meses de inverno o autor verificou que 30% da água era desperdiçada.

Sherman (2014) identificou desperdício comportamental, em média, de 47 segundos em eventos de banho em residências do estado da Califórnia no mês de dezembro. Ou seja, a água quente já atingiu o ponto de consumo e os usuários estão iniciando o banho 47 segundos após a chegada desta água quente. Wood e D'Acquisto (2015) verificaram, em uma amostra de 574 banhos em residências do estado da Pensilvânia, que o desperdício comportamental foi, em média, de 59 segundos e o desperdício estrutural foi, em média, de 64 segundos durante os meses de setembro e outubro. Para uma edificação unifamiliar, para um chuveiro com vazão média de 0,157 litros/segundo, o desperdício anual de água pode ser de 3774 litros. Ally (2002) realizou um estudo em cinco residências do município de Palo Alto, Califórnia, para verificar a eficiência do sistema de recirculação de água por meio da tecnologia Metlund D'MAND © system. Em uma das residências foi possível estimar economia de 11500 litros de água por ano por meio de uma torneira de um banheiro.

Quanto às pesquisas a nível nacional, Gonçalves et al. (1989), em uma análise específica em um determinado estudo de caso, obtiveram tempo de 70 segundos para que a água percorresse a tubulação entre o aquecedor e o ponto de consumo mais distante da residência, desperdiçando 13,0 litros de água. Chaguri Junior (2009) realizou estudo de caso em um apartamento situado na cidade de Ribeirão Preto (SP) e identificou tempo de 76 segundos, desperdiçando 10,0 litros de água que estava em repouso na tubulação.

A instalação de válvulas de restrição termostática resolve parcialmente o problema de desperdício. E a instalação de sistemas de recirculação exige investimento inicial bastante elevado. Assim sendo, este trabalho propõe a instalação de um sistema

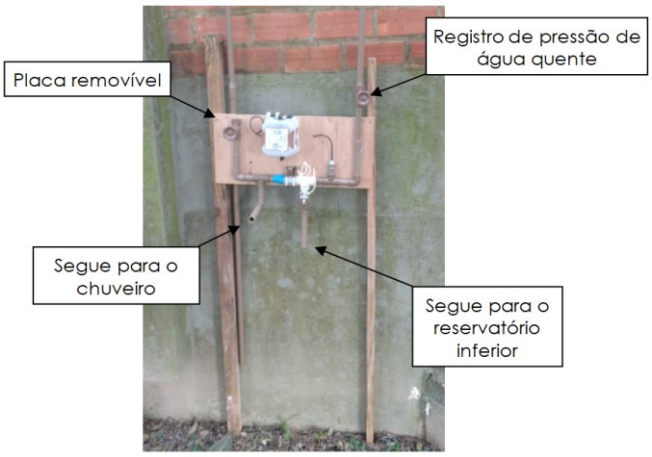
automatizado de baixo custo que direcione para outro destino a água fria presente nas tubulações e que seria desperdiçada, envolvendo o mínimo de interação entre o sistema e o usuário. Este trabalho trata da concepção e análise do sistema automatizado apenas para novos projetos e apenas para sistemas prediais de água quente que possuam aquecedores de passagem a gás como fonte principal de aquecimento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Com a colaboração de escritórios de engenharia, foi possível mensurar, por meio das plantas baixas e desenhos isométricos de treze projetos hidrossanitários digitais, o comprimento de tubulação entre o aquecedor de passagem e os chuveiros dos apartamentos. O volume de água desperdiçado no banho foi determinado por meio do produto entre a área interna das tubulações e o comprimento total medido em planta. Para comparar e comprovar que a água desperdiçada nos segundos iniciais do banho é, em parte, a água que fica em repouso nas tubulações entre o aquecedor e o chuveiro, foram selecionados três condomínios para medições *in loco*. O procedimento consistiu em abrir o registro de pressão de água quente do chuveiro e proceder com a coleta da água com um aparato. Enquanto isso, media-se a temperatura da água logo na saída do chuveiro com um termômetro à prova de água. As medições de temperaturas eram monitoradas simultaneamente à coleta de água e quando o termômetro marcasse a temperatura de 30ºC procedia-se com o fechamento do registro de pressão. O volume de água coletado era então medido para posterior comparação com os dados constatados em projeto. O tempo que a água levou para atingir temperatura de 30ºC foi também utilizado para se obter a vazão do chuveiro.

Com a finalidade de validar e testar a ideia proposta, elaborou-se um protótipo da instalação hidráulica e eletrônica. Os componentes eletrônicos que devem ser instalados para o funcionamento do sistema automatizado foram conectados em uma placa de madeira. Esta placa removível é composta também pela saída da tubulação para o chuveiro e da saída da tubulação que destinará a água que seria desperdiçada no banho para o reservatório inferior (de um sistema de reúso de água cinza ou aproveitamento de água pluvial, por exemplo), conforme ilustra a Figura 1. O funcionamento do protótipo foi comprovado por meio de uma câmera termográfica.

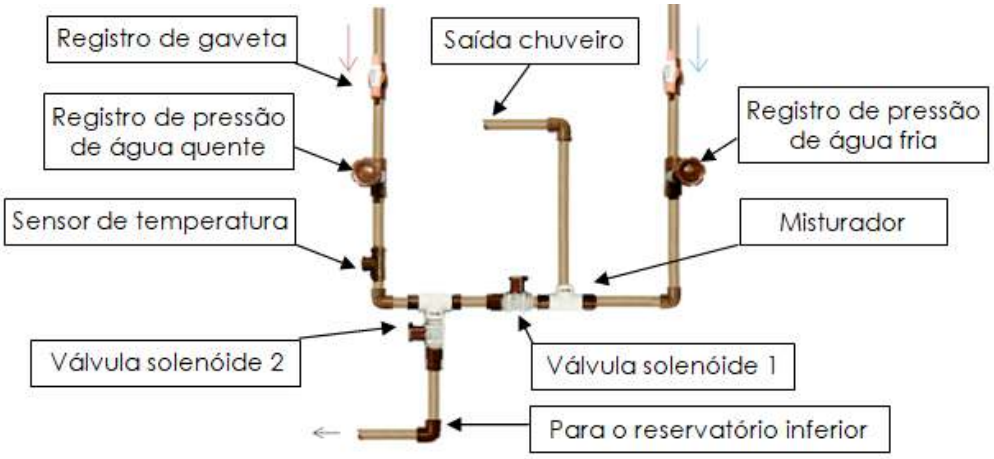
Figura 1: Protótipo instalado junto à estrutura no nível do solo.



Fonte: Os autores

A Figura 2 ilustra um sistema usual de instalação de um chuveiro com as modificações necessárias para conformar o sistema automatizado. O sensor de temperatura que identifica a temperatura na qual a água quente está passando pela tubulação deve ser instalado em um ponto próximo ao registro de pressão de água quente. Além disso, o sistema deve possuir duas válvulas solenóides nas posições sugeridas na Figura 2. Por último, deve haver o sistema de coleta de água do chuveiro conectado a uma tubulação vertical, responsável por coletar a água de todos os chuveiros das unidades habitacionais e direcioná-la ao reservatório inferior da edificação com o auxílio de tubulações de maiores diâmetros, quando necessário. Os diâmetros destas tubulações que direcionam a água para o reservatório inferior serão determinados por meio do método recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 1998). A conexão destas tubulações com o reservatório inferior deve ocorrer a uma altura acima da entrada de água da concessionária.

Figura 2: Esquema da instalação hidráulica da ideia proposta.



Fonte: Os autores

O funcionamento do sistema automatizado resume-se em direcionar a água para o seu devido fim conforme a temperatura na qual ela fluirá pelo sensor de temperatura. Caso a temperatura da água seja inferior a uma temperatura pré-definida em programação, como por exemplo, 38ºC, as válvulas solenóides permanecem no seu estado inicial, ou seja, a válvula solenóide 1 fechada e a válvula solenóide 2 aberta, direcionando a água para o reservatório inferior da edificação. Quando toda a água fria que estava em repouso na tubulação de água quente for direcionada para o reservatório inferior, começará a fluir a água quente provinda do aquecedor de passagem. Com isso o sensor identifica temperatura maior que 38ºC e envia um sinal para que o microcontrolador mande a informação para o módulo relé acionar as válvulas e fazer a troca simultânea dos estados delas, ou seja, liberando o fluxo da água quente para o chuveiro e interrompendo o fluxo de água para o reservatório inferior.

Por fim, foi realizada uma análise econômica da implantação do sistema em edificações multifamiliares. Os fluxos de caixas foram simulados com os custos iniciais, como materiais e mão de obra para instalação do sistema. As economias com gastos mensais de água de um edifício proporcionadas pelo sistema serão as entradas mensais do fluxo de caixa. Como o sistema automatizado de redirecionamento é suplementar a um sistema de aproveitamento de água pluvial ou de reúso de água cinza, os custos com manutenção foram desconsiderados.

Com os fluxos de caixa é possível obter o valor presente líquido (VPL), o payback descontado e a taxa interna de retorno (TIR) para avaliar se o investimento é viável. Considerou-se a instalação do sistema automatizado para todos os chuveiros de uma edificação e também para apenas um sistema automatizado por apartamento. A análise financeira foi realizada para edifícios com todos os apartamentos iguais em planta, todos com um térreo e um pavimento subsolo onde se encontra o reservatório inferior do sistema de aproveitamento de água pluvial. Para as análises destes edifícios consideraram-se cenários favoráveis (maior economia de água) e desfavoráveis (menor economia de água). A economia total de água será em relação ao custo com água que todo o edifício teria ao longo do mês.

O valor da taxa de água para estimar a economia financeira de água foi obtido através da nova estrutura tarifária aplicada pela Companhia Catarinense de Água e Saneamento (CASAN) para o mês de maio de 2020. Também foram considerados os valores de impostos como PIS e COFINS aplicados nas tarifas de água, assim como a taxa de esgoto, que é de 100% do total consumido em água. Na projeção do fluxo de caixa para os anos futuros foi considerada a mediana dos últimos cinco reajustes praticados pela CASAN; e a taxa Selic do mês de maio de 2020 foi considerada como taxa mínima de atratividade (TMA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 mostra os volumes de desperdícios encontrados nas duas formas de medição (em projeto e *in loco*) para os três condomínios. Para os apartamentos analisados, a média encontrada para desperdício de água até que a água que sai do chuveiro sofra alguma variação na temperatura (T_{var}) é de 6,33 litros. E para a água sair do chuveiro a uma temperatura de 30ºC (T_{30}), ocorre desperdício de 9,28 litros de água em média.

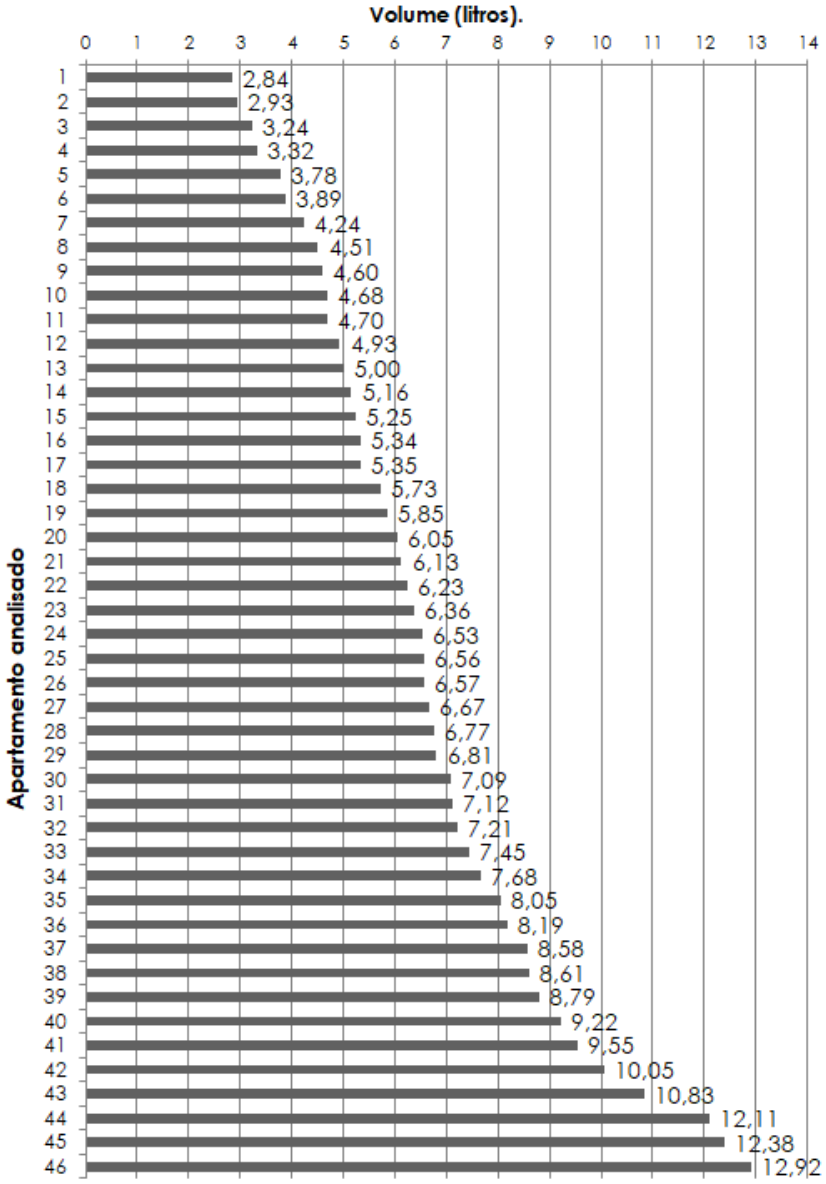
Tabela 1: Comparação do volume de água desperdiçado mensurado em planta com o medido *in loco*.

Projeto	**Desperdício em planta (litros)**	**Desperdício *in loco* (litros)**	
		T_{var}	**T_{30}**
Residência 1	9,55	7,80	11,11
Residência 2	-	7,87	10,34
Residência 3	7,68	5,62	10,33
Residência 4	6,77	5,04	8,55
Residência 5	-	5,63	8,25
Residência 6	3,89	4,66	7,48
Residência 7	5,34	7,69	8,94

Fonte: Os autores

A Figura 3 apresenta o volume de água presente no interior da tubulação entre o chuveiro mais afastado e seu respectivo aquecedor de passagem de todos os apartamentos dos projetos analisados. Observa-se que o volume de água nas tubulações entre os chuveiros mais afastados de seus respectivos aquecedores de passagem é de 6,95 litros em média. No entanto, variou de 2,84 a 12,92 litros.

Figura 3: Volume de água presente na tubulação entre o chuveiro mais afastado e seu respectivo aquecedor dos apartamentos analisados.

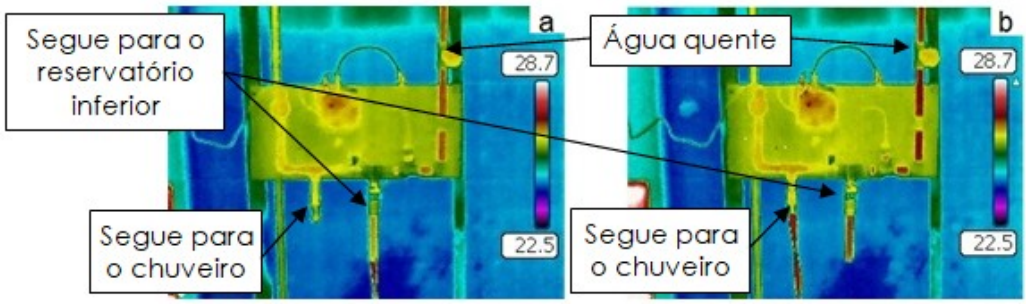


Fonte: Os autores

O protótipo do sistema que visa evitar desperdício de água do banho foi instalado e testado nos meses de abril e maio. Na Figura 4(a) é possível visualizar o instante em que a temperatura da água que flui pela prumada de água quente ainda é considerada baixa. Portanto, a água está sendo direcionada para o reservatório inferior.

A Figura 4(b) ilustra o momento em que água superou a temperatura de 26ºC (baixa), de modo que ocorreu a troca simultânea dos estados das válvulas solenóides passando assim a destinar a água para o chuveiro. Ressalta-se que para aplicações reais em um sistema predial, o algoritmo da programação seria ajustado para realizar a troca dos estados das válvulas solenóides do sistema automatizado em uma temperatura entre 40ºC e 50ºC, deixando esta temperatura à escolha do usuário do sistema automatizado.

Figura 4: Visualização do protótipo por meio da câmera termográfica (Temperatura da água menor que 26°C (a) e maior que 26°C (b)).

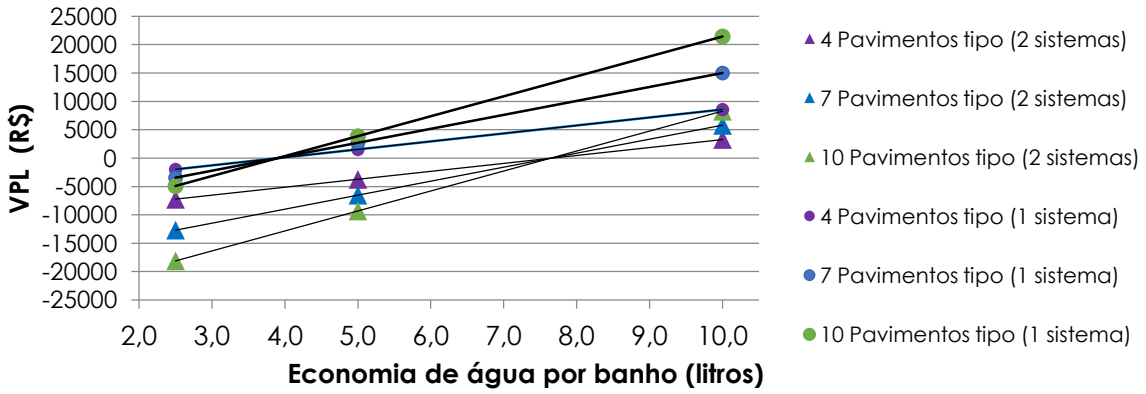


Fonte: Os autores

Para contabilizar a economia de água com o sistema estimou-se a população dos edifícios em três pessoas por apartamento, consumindo em média 185 litros de água por dia. Para o cenário favorável foi considerada uma economia de 10,0 litros por pessoa por dia proporcionada pelo sistema. Este valor foi estimado conforme os dados encontrados nas medições *in loco* considerando que a temperatura para realmente iniciar o banho seria maior do que 30°C, que foi a temperatura analisada nas medições. E para cenários desfavoráveis foram consideradas economias de 5,0 e 2,5 litros por pessoa por dia. Para a tarifa de água dos meses do primeiro ano de análise considerou-se o mês de maio de 2020. Para os meses dos anos seguintes do fluxo de caixa, foi utilizada a tarifa de água atual com reajuste de 6% ao ano. A taxa mínima de atratividade adotada foi de 0,25% ao mês (taxa Selic do mês de maio de 2020).

A Figura 5 mostra o VPL para as dezoito análises variando-se a altura do edifício (4, 7, 10 pavimentos tipo), a economia de água proporcionada pelo sistema e o número de sistemas por apartamento.

Figura 5: Relação entre o VPL e economia de água na instalação do sistema.



Fonte: Os autores.

É possível concluir que com a instalação de dois sistemas por apartamento, caso ocorra economia mínima de, aproximadamente, 7,6 litros por banho, o sistema terá VPL maior que zero. E com a instalação de um sistema por apartamento o sistema é viável caso proporcione economia mínima de, aproximadamente, 3,9 litros de água por banho.

4 CONCLUSÕES

Por meio deste trabalho foi possível validar o funcionamento de um sistema automatizado e verificar a viabilidade econômica de sua implementação em edifícios. Verificou-se que nos apartamentos onde os aquecedores de passagem a gás encontravam-se próximos aos banheiros, o desperdício pode ser bastante reduzido, como, por exemplo, de 2,84 litros. Na fase de construção do protótipo foi possível validar o funcionamento do sistema proposto para estimar os custos com equipamentos eletrônicos e prever os custos com tubulações e conexões hidráulicas. Por meio da análise econômica foi possível concluir que a instalação do sistema em edificações é viável. Pode-se concluir que, se em cada banho tomado ocorrer desperdício de no mínimo 7,6 litros de água, é conveniente instalar o sistema automatizado em até dois chuveiros por apartamento.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 13103**: Adequação de ambientes residenciais para instalação de aparelhos que utilizam gás combustível. Rio de Janeiro, 2000.

ALLY, M R. **Water and Energy Savings using Demand Hot Water Recirculating Systems in Residential Homes: A Case Study of Five Homes in Palo Alto, California**. Estados Unidos, 2002. Disponível em:<https://www.osti.gov/servlets/purl/885864>. Acesso em 07 mai. 2020. doi:10.2172/885864.

CHAGURI JUNIOR, J. J. **Sistemas prediais de aquecimento de água a gás: parâmetros de dimensionamento e gerenciamento**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

GONÇALVES, O. M.; CHAGURI, J.J.; LANDI, F. D. N.; ILHA, M. S. O.; KAVASSAKI, Y.; HENRIQUES, A. M. J.; ISAAC, L. C. S. **Desenvolvimento de tecnologias de substituição de aquecimento de água: programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico para o setor residencial**. São Paulo, 1989.

LUTZ, J. D. **Estimating energy and water losses in residential hot water distribution systems**. Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley, 2005. Disponível em: < https://bit.ly/3b977yM>. Acesso em: 07 mai. 2019.

LUTZ, J. **Water and energy wasted during residential shower events: findings from a pilot field study of hot water distribution systems**. Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley, 2011.

SHERMAN, T. **Disaggregating Residential Shower Warm-Up Waste: An Understanding and Quantification of Behavioral Waste Based On Data From Lawrence Berkeley National Labs**. Evolve Technologies LLC. 2014. Disponível em: < https://bit.ly/3bgz1bW >. Acesso em: 07 mai. 2020.

WOOD, A.; D'ACQUISTO, J. **Pilot Study for a Thermostatic Shower Restriction Valve**. International Energy Program Evaluation Conference, Long Beach, 2015. Disponível em: < https://bit.ly/3dqkv31 >. Acesso em: 07 mai. 2020.