

SISTEMA QUE EVITA DESPERDÍCIO DE ÁGUA FRIA DURANTE O CONSUMO DE ÁGUA QUENTE EM APARELHOS SANITÁRIOS RESIDENCIAIS

Marcelo Dalmédico Ioris⁽¹⁾

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina com período sanduíche através do programa Ciência sem Fronteiras pela Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, RWTH, Aachen, Alemanha. Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFSC na área de Construção Civil, linha de pesquisa Conforto Ambiental e Energia, projeto de pesquisa em Uso racional de água.

EneDir Ghisi⁽²⁾

PhD

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Trindade - Florianópolis - Santa Catarina - CEP: 88040-900 - Brasil - Tel: +55 (48) 37212115 - Fax: +55 (48) 37215191 e-mail: marcelo.ioris@posgrad.ufsc.br

RESUMO

Em residências que possuem aquecedores de passagem a gás para o aquecimento da água, há desperdício de água nos segundos iniciais da utilização dos aparelhos sanitários. O objetivo deste trabalho é descrever como se dá a implementação de um dispositivo automatizado integrado aos pontos de consumo de água quente das edificações para eliminar o desperdício de água. Realizaram-se medições de desperdício de água fria durante o consumo de água quente por meio de aparelhos sanitários de uma residência unifamiliar e outra multifamiliar, ambas com aquecimento de água a gás. Verificou-se que ocorre um desperdício, em média, de 7,2 litros de água para que a água que sai da torneira do banheiro da residência comece a sofrer variações positivas na temperatura. Para evitar este desperdício necessita-se a instalação adicional de um conjunto de equipamentos eletrônicos auxiliares ao sistema hidráulico que redirecionem para um reservatório a água fria que seria desperdiçada. Este reservatório deve garantir a utilização posterior desta água. O funcionamento do sistema automatizado proposto resume-se na abertura de uma válvula localizada no final do ramal de instalação hidráulica da residência. Esta válvula direciona para o seu devido fim a quantidade aproximada de água que seria desperdiçada por um determinado aparelho.

PALAVRAS-CHAVE: Aquecedor de passagem, Redirecionamento de água, Desperdício de água fria.

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 sejam elevados. Além disso, Lutz (2005) relata que normalmente as práticas de construção residencial ignoram as perdas de água e energia causadas por um sistema de distribuição de água quente mal projetado. 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 consumo. Ressalta-se que desperdícios semelhantes ocorrem também em sistemas auxiliares para aquecimento solar, seja ele por meio de energia elétrica ou a gás, quando este não é dotado de um sistema recirculador.

Lutz (2011) e Klein (2006) definem duas perdas para os casos de desperdício de água no banho. A água fria que se localiza na tubulação de água quente entre o aquecedor e os pontos de consumo e que é desperdiçada após um consumo de água quente representa as perdas estruturais. A água que está quente o suficiente, mas continua sendo desperdiçada antes que o usuário comece a utilizar o chuveiro, representa as perdas comportamentais. Esta perda está relacionada às atividades executadas pelo usuário enquanto ele espera que a água quente atinja o aparelho sanitário, tais como, escovar os dentes, fazer a barba, despir-se, etc.



Há duas formas de mensurar os desperdícios de água e energia que decorrem da utilização de água quente nas residências. Uma das formas consiste em analisar traços de vazão dos aparelhos sanitários. 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 (3,48 galões) 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. Para a análise de desperdício por meio das torneiras, o autor verificou que, em média, 4,31 litros de água fria são desperdiçados em eventos de longo consumo. A outra maneira, mais confiável, de verificar a quantidade de água fria que é desperdiçada nos pontos de consumo de água quente é realizar medições individualizadas para cada aparelho sanitário. Identificando-se a vazão do aparelho e por meio de um sensor de temperatura à prova d'água, que registra medições de temperatura a cada segundo, é possível mensurar a quantidade de água fria que é desperdiçada até a água quente proveniente do aquecedor atinja o aparelho. 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 fluxo e temperatura durante eventos de banho em três residências unifamiliares na Califórnia durante os meses de inverno o autor verificou que 30% de água é desperdiçada.

Sherman (2014) identificou um 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 aproximadamente 3774 litros. Ally e Tomlinson (2002) realizaram um estudo em cinco residências do município de Palo Alto no estado da 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 uma economia de, aproximadamente 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 um tempo de 70 segundos para que a água percorresse a tubulação entre o aquecedor e o ponto de consumo mais distante da residência, desperdiçando aproximadamente 13,0 litros de água. Chaguri Junior (2009) realizou semelhante estudo de caso em apartamento situado na cidade de Ribeirão Preto (SP) e identificou um tempo de 76 segundos, desperdiçando 10,0 litros de água que estava em repouso na rede. Ioris (2018) verificou o desperdício de água fria que ocorre antes da chegada de água quente em sete chuveiros de três edificações diferentes de Florianópolis no mês de maio. Foi realizada uma comparação entre os desperdícios estimados por meio das plantas e desperdícios obtidos por meio de medições in loco. Para os apartamentos analisados, a média encontrada para desperdício de água até que a água que sai do chuveiro sofresse alguma variação na temperatura foi 6,33 litros. E para a água sair do chuveiro a uma temperatura de 30°C ocorreu desperdício de 9,28 litros de água em média.

Como forma de minimizar ou evitar perdas causadas pelos usuários e pelos aparelhos sanitários, algumas empresas têm desenvolvido acessórios para as instalações hidráulicas. A empresa Taco, com sede no Canadá, desenvolveu um sistema (*Taco Genie*[®]) composto por uma bomba recirculadora e uma válvula que faz a união da instalação de água fria com a de água quente da edificação. Portanto, não há a necessidade de um ramal adicional para recircular a água. A válvula, que pode ser programada para funcionar nos horários de maior consumo de água quente, normalmente é instalada no ponto de consumo de água mais afastado do aquecedor. Um componente bastante semelhante ao sistema Taco Genie foi desenvolvido nos Estados Unidos. Primeiramente chamado de *ACT Metlund D'MAND © system*, atualmente os produtores desenvolvem a própria bomba recirculadora destinada especificamente para esta função e o produto é chamado de *Chilipepper CP2011*. O fabricante assegura que o sistema pode bombear a água em uma vazão de aproximadamente 11,0 litros por segundo. O seu funcionamento pode ser iniciado por modo *Wi-fi* ou simplesmente pelo acionamento de um botão remoto (CHILIPEPPER, 2020).

Outro componente existente no mercado é a válvula *ShowerStart TSV³ (Thermostatic Shut-off Valve)* desenvolvida pela empresa Evolve (THINKEVOLVE, 2020). Diferentemente do sistema *Taco Genie*[®], esta válvula foi concebida unicamente para a utilização em chuveiros. A instalação também é feita próxima ao equipamento sanitário e tem como função apenas evitar as perdas comportamentais. Estas perdas ocorrem quando o usuário do banho utiliza seu tempo para fazer outras atividades enquanto espera que a água atinja

temperaturas mais elevadas. São definidas pelo período que o usuário não está presente no banho depois que a água que sai do chuveiro atingiu temperaturas aceitáveis para o uso. Esta válvula identifica quando a temperatura da água que passa pelo chuveiro atinge 35°C, interrompendo então o fluxo. Para reiniciar o fluxo de água, o usuário deve simplesmente puxar uma corda que vem junto ao equipamento. O funcionamento para o próximo uso é reiniciado automaticamente pela válvula.

Outra alternativa para evitar este desperdício de água fria no banho proposta pela empresa FORTLEV é o coletor ecobanho FORTLEV. Este coletor é um recipiente com capacidade para seis litros de água que deve ser posicionado abaixo do chuveiro. Realizada a coleta de água fria do banho, o coletor possui um formato anatômico favorável para destinar a água coletada para atividades como: lavar carros, regar plantas, usar no vaso sanitário, etc (FORTLEV, 2020).

Quanto ao desenvolvimento de alternativas a nível nacional para evitar o desperdício de água e energia, Pasetti (2014) elaborou um protótipo para automatizar uma unidade de aquecimento solar doméstica. O autor propõe um sistema de aquecimento híbrido que utiliza energia solar e elétrica como fontes de energia. O sistema é composto por coletores solares, um tanque de armazenamento, um chuveiro elétrico, e os equipamentos eletrônicos que possibilitam a automatização do sistema. O sistema, por meio de testes e simulações, se mostrou viável, promovendo redução no consumo de energia elétrica em mais de 78% e evitando desperdício do volume de água que fica acumulado entre o boiler e o chuveiro.

A instalação de dispositivos para evitar desperdício de água como, por exemplo, a válvula *ShowerStart TSV3*, que é uma válvula de restrição termostática, resolve apenas o problema do desperdício comportamental de água. E a instalação de sistemas de recirculação como, por exemplo, os sistemas *Taco Genie®* e *Chilipepper CP2011* exige investimento inicial bastante elevado.

Assim sendo, este trabalho descreve como seria a conformação de um sistema automatizado de baixo custo que direciona para outro destino a água fria parada nas tubulações e que seria desperdiçada, envolvendo o mínimo de interação entre o sistema e o usuário. Esse sistema automatizado pode ser implementado em uma instalação hidráulica existente ou em um novo projeto de residência unifamiliar ou multifamiliar. Este trabalho trata da 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. A análise restringiu-se a estes sistemas devido à maior abrangência na região sul do Brasil em comparação com sistemas solares e seus respectivos sistemas auxiliares (ELETROBRAS, 2019).

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é descrever como se dá a implementação de um dispositivo automatizado integrado aos pontos de consumo de água quente das edificações que elimina o desperdício de água dos instantes iniciais de uso.

3. METODOLOGIA

A quantidade de água fria desperdiçada nos aparelhos sanitários nos sistemas usuais de edificações residenciais que usam aquecedores de passagem varia em função:

- do diâmetro da tubulação desde o aquecedor até os pontos de consumo;
- do comprimento desta tubulação;
- da vazão do aparelho sanitário;
- da eficiência do aquecedor de passagem;
- do intervalo de tempo entre dois consumos de água em pontos de consumo que utilizam o mesmo ramal de tubulação ou parte dele;
- do material da tubulação e do isolamento, caso existente.

Para comprovar que a água fria desperdiçada nos segundos iniciais da utilização dos pontos de consumo de água quente, em partes, é a água que fica em repouso nas tubulações entre o aquecedor e estes pontos, foram realizadas medições de desperdício de água fria durante o consumo de água quente por meio de aparelhos

sanitários de uma residência unifamiliar e de uma residência multifamiliar, ambas com aquecimento de água a gás. A residência unifamiliar está localizada no município de São Lourenço do Oeste e a residência multifamiliar no município de Criciúma.

Primeiramente, verificou-se com os usuários se houve consumo de água quente nos instantes precedentes às medições. Para confirmar, a temperatura da água dos pontos de consumo de água quente foi previamente medida para verificar em que faixa de temperatura se encontrava e que realmente não havia ocorrido consumo. Optou-se por fazer as medições de desperdício de água fria com o aquecedor de passagem na situação de aquecimento vigente, ou seja, com a temperatura que os usuários estavam acostumados e confortáveis no período da medição.

Antes de começar as medições de temperatura, verificava-se a vazão dos aparelhos com o acionamento do registro de água quente, porém, com o aquecedor de passagem a gás desligado. Com o auxílio de um recipiente com graduação em mililitros, três coletas de água dos aparelhos acionados na vazão mais alta foram efetuadas, com simultâneo acionamento de um cronômetro. Lutz (2005), ao analisar o desperdício de água fria durante o consumo de água quente, também considerou que primeiramente o usuário aciona o aparelho na vazão mais alta para que o mesmo obtenha água quente mais rapidamente. A razão do volume coletado pelo tempo de coleta caracteriza a vazão mais elevada do aparelho. Para obter um valor mais confiável para a vazão máxima, foi realizada a média das três medições de vazão.

Na sequência, o aquecedor a gás era ligado e o registro de pressão de água quente do aparelho a ser analisado era aberto na sua vazão máxima. Procedia-se então com a coleta da água com um recipiente (para posterior reutilização) e media-se a temperatura da água logo na saída do aparelho com um termômetro à prova de água. O termômetro conectado a um notebook estava programado para receber e registrar medições de temperaturas a cada segundo. As medições de temperaturas eram monitoradas simultaneamente à coleta de água e quando o termômetro marcasse a temperatura de 30°C, procedia-se com o fechamento do registro de pressão. Multiplicando-se a vazão encontrada pelos valores de tempo associados a cada temperatura medida, obteve-se o volume de água desperdiçado para que a água atingisse determinada temperatura.

Três medições de desperdício foram realizadas para cada aparelho sanitário analisado. Para a residência unifamiliar foram feitas medições para a torneira do tanque da área de serviço e para a torneira do banheiro comum. Para a residência multifamiliar foram realizadas as medições apenas para a torneira do tanque da área de serviço. Para proceder com nova coleta de água com medição de temperatura, o registro de gás do aquecedor de passagem era fechado, de modo que ao se realizar a abertura do registro de pressão de água quente do aparelho a ser analisado, fluía água fria. Este procedimento fazia com que a tubulação e todo o sistema resfriassem de forma que fosse possível simular novamente uma situação usual de utilização do aparelho. A Figura 1 ilustra o fluxograma do método para realizar as medições nas residências.

As medições na residência unifamiliar também foram utilizadas para comprovar a hipótese de que a água quente atinge os pontos de consumo mais próximos do aquecedor mais rapidamente do que os pontos mais afastados. Encerrada a medição de desperdício de água fria do ponto visualmente mais próximo do aquecedor, que é a torneira do tanque da área de serviço, foi a medição de desperdício de água fria do ponto visualmente mais afastado, que é a torneira do banheiro comum. De modo semelhante, foi realizada a medição de desperdício de água fria do ponto mais próximo após ter sido realizada a medição do ponto mais afastado do aquecedor a gás.

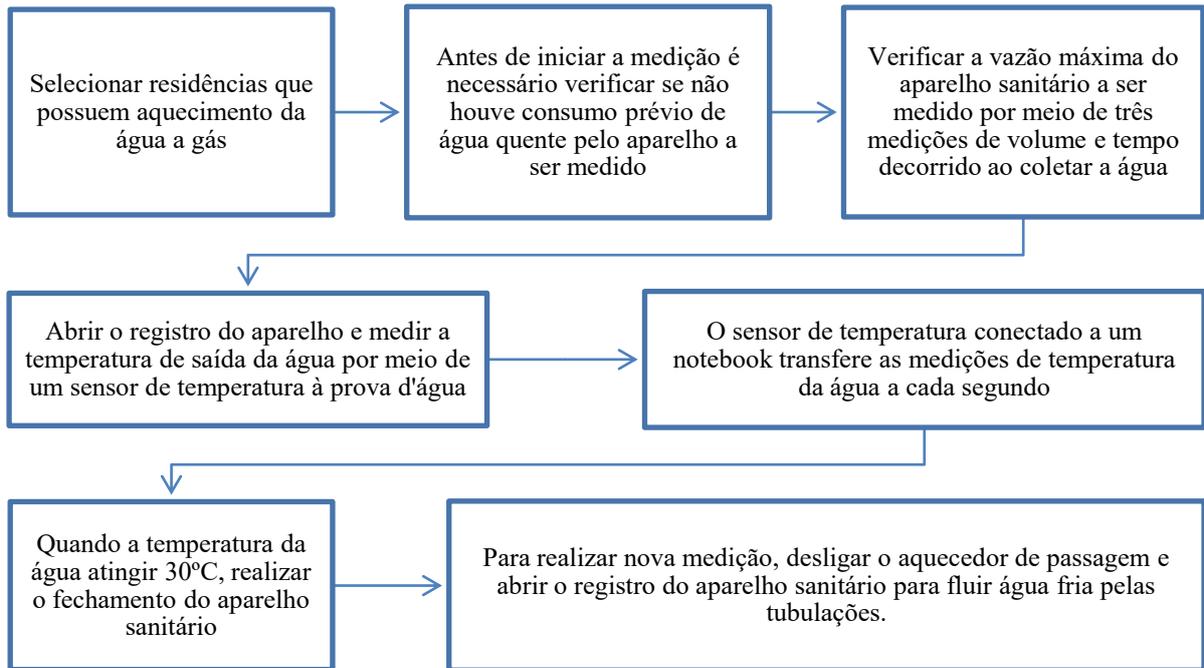


Figura 1: Fluxograma da pesquisa de campo.

O funcionamento do sistema automatizado proposto resume-se na abertura de uma válvula solenóide localizada no final do ramal de instalação hidráulica da residência. Esta válvula tem a função de direcionar para o seu devido fim a quantidade aproximada de água fria que seria desperdiçada por um determinado aparelho. Por meio de um sinal de radiofrequência enviado ao se acionar um dispositivo próximo ao ponto de consumo de água quente desejado, o sistema reconhece qual ponto de consumo foi acionado e a quantidade aproximada de água fria que deve liberar por meio da válvula até que ocorra a chegada da água quente do aquecedor.

A Figura 2 ilustra a planta baixa de um sistema usual de instalação hidráulica de um projeto existente e a Figura 3, um esquema vertical da instalação hidráulica na região do apartamento, ilustrado na Figura 2, onde se encontram os banheiros. Em edificações multifamiliares com aquecimento da água por meio de aquecedores de passagem a gás, normalmente os pontos são abastecidos por um sub-ramal de água fria conectado ao reservatório da edificação, e outro sub-ramal de água quente conectado ao aquecedor de passagem.

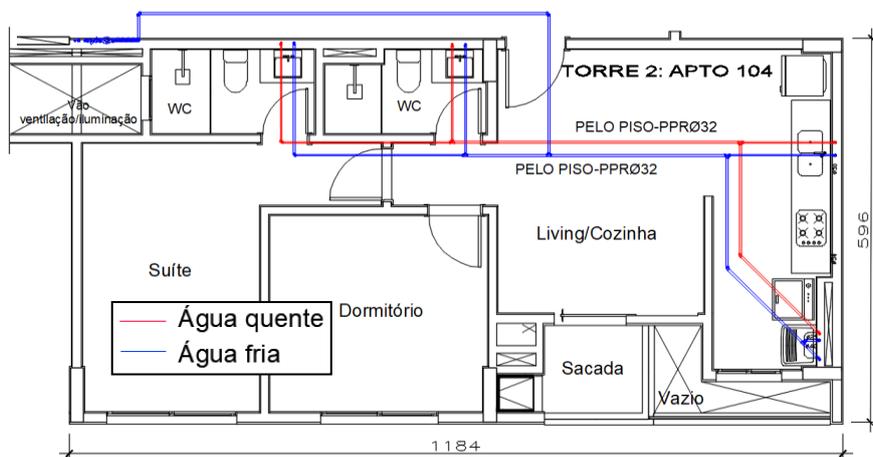


Figura 2: Planta baixa de instalação hidráulica usual.

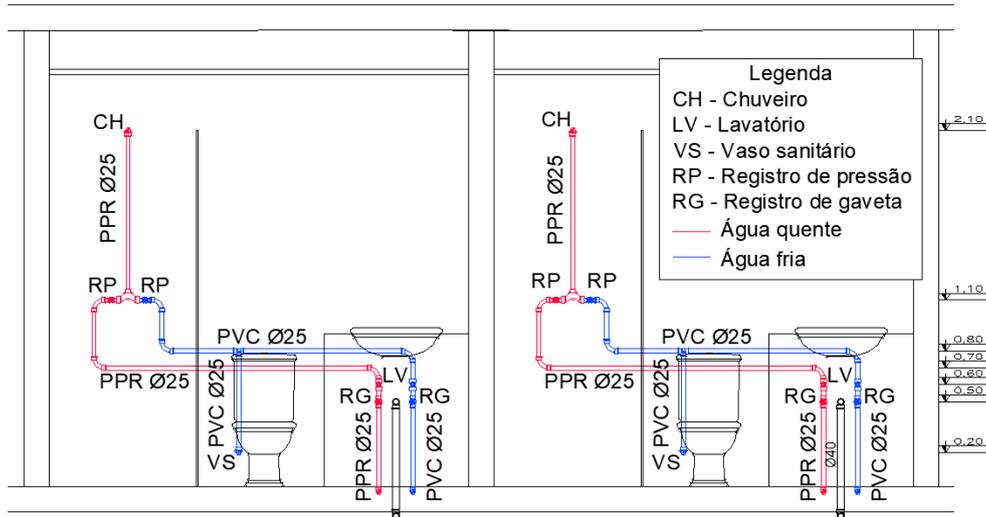


Figura 3: Esquema vertical de instalação hidráulica usual.

São necessários registros de gaveta nos sub-ramais para interromper o fluxo de água no caso de eventuais reparos e também registros de pressão para o ajuste fino da vazão da água fria e água quente. Por fim, a água circula pelo misturador, onde a água fria e a água quente se misturam, e segue para o chuveiro ou para a torneira.

A Figura 4 ilustra a planta baixa de uma instalação hidráulica do mesmo projeto das Figuras 2 e 3, porém de um apartamento diferente. E a Figura 5 representa um esquema vertical da instalação hidráulica do banheiro da suíte do apartamento ilustrado na Figura 4.

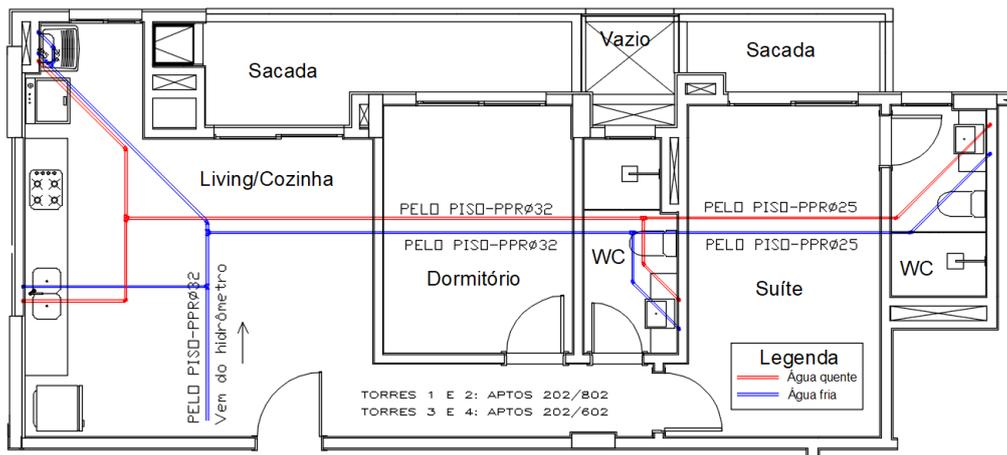


Figura 4: Planta baixa de instalação hidráulica.

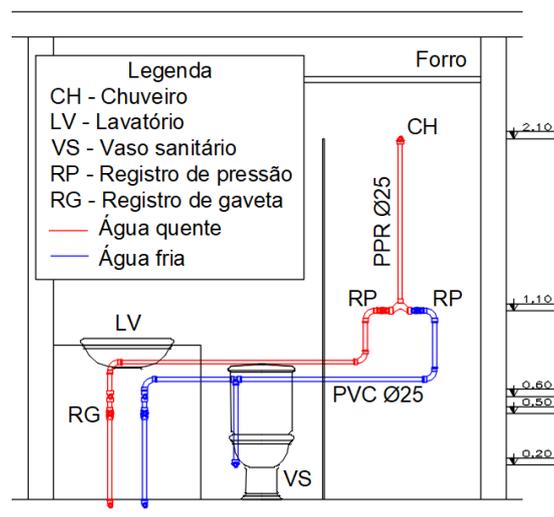


Figura 5: Esquema vertical de instalação hidráulica.

Para o sistema automatizado proposto são necessárias algumas modificações na conformação das tubulações do sub-ramal de água quente. Para aumentar a eficiência do sistema, o ramal principal do sub-ramal de água quente deve passar o mais próximo possível dos pontos de consumo de água quente.

Os botões de acionamento que enviam o sinal de radiofrequência devem ser instalados próximos aos registros de pressão de água quente. Além disso, próximo ao ponto de consumo de água quente mais afastado do aquecedor, o sistema deve possuir uma válvula solenóide e também, para o caso de residências multifamiliares, um medidor de fluxo de vazão para contabilizar mensalmente a quantidade de água que passou por esta válvula solenóide. Por último, deve haver o sistema de coleta de água dos pontos de consumo da residência, que será análogo aos componentes de um sistema predial de esgoto sanitário. Primeiro deve haver uma tubulação análoga aos ramais de descarga para coletar a água que passa pela válvula solenóide. Esta tubulação será de mesmo diâmetro da tubulação do sub-ramal. Em seguida esta tubulação será conectada a uma tubulação vertical, responsável por coletar a água de todas as unidades habitacionais e direcioná-la ao reservatório inferior de água potável da edificação com o auxílio de tubulações de maiores diâmetros, quando necessário.

Os diâmetros das tubulações que direcionam a água para o reservatório inferior de água potável dependerão da quantidade de pontos de consumo de água quente da edificação e serão determinados por meio do método da soma dos pesos que é abordado na NBR 5626 (ABNT, 1998). Todas as demais recomendações feitas pela NBR 5626 para o funcionamento correto do sistema predial de distribuição devem ser seguidas para a instalação do sistema de coleta de água do sistema automatizado proposto.

Para facilitar as instalações, portanto, é possível haver mais de uma tubulação vertical que colete a água das diferentes regiões dos pavimentos tipo da edificação. Estas tubulações verticais podem ser instaladas nos *shafts* com as tubulações de água quente, água fria e esgoto. Por fim, estas tubulações verticais conectam-se às tubulações de maiores diâmetros no subsolo e conduzem a água para o reservatório inferior de água potável da edificação.

A conexão destas tubulações com o reservatório inferior de água potável deve ocorrer a uma altura h_1 acima da entrada de água da concessionária, conforme ilustra a Figura 6. Esta altura varia conforme o volume de água estimado que será coletado na pior situação, ou seja, no uso simultâneo de todos os pontos de consumo de água quente de uma edificação. Este volume é, portanto, a quantidade total de água que fica em repouso em todos os ramais de água quente da edificação.

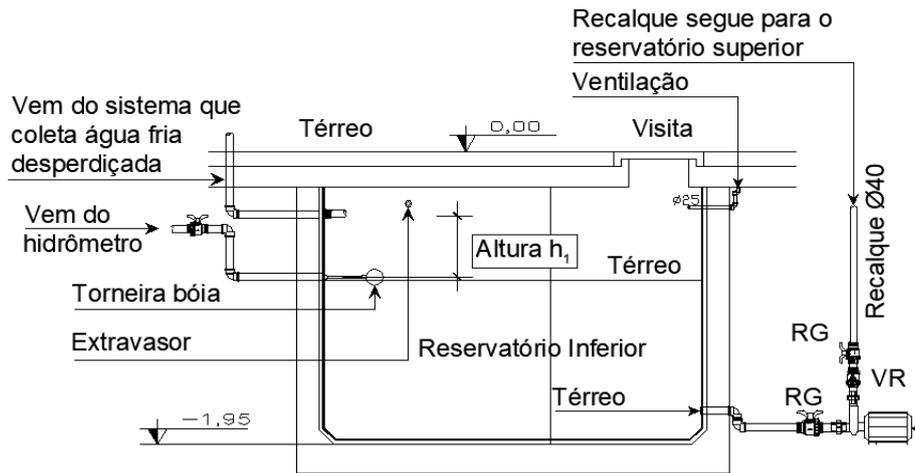


Figura 6: Sugestão para a conexão da tubulação que coleta água fria dos pontos de consumo de água quente com o reservatório inferior de água potável da edificação.

O volume de água no interior das tubulações de água quente de uma unidade habitacional foi calculado por meio da Equação 1. Ressalta-se que a variável comprimento de tubulação deve ser medida entre o aquecedor e o ponto de água quente mais afastado que é alimentado por este aquecedor.

$$V_1 = \frac{10^{-3}\pi}{4} (D_1^2 c_1 + D_2^2 c_2 + D_3^2 c_3 + \dots + D_n^2 c_n) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: V_1 é o volume de água no interior da tubulação de água quente de um apartamento (litros), D_n é o diâmetro interno dos trechos de tubulação (mm), C_n é o comprimento dos trechos de tubulação entre aquecedor e o ponto mais afastado de consumo de água quente, onde se localiza a válvula solenóide (m), n é o número de trechos do ramal principal entre o aquecedor e a válvula solenóide que possuam diâmetros diferentes.

O valor da altura do reservatório que deve ser reservado para o volume de água coletado dos apartamentos da edificação foi obtido por meio da Equação 2.

$$h_1 = \frac{V_2}{A_b} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: h_1 é a altura do reservatório inferior de água potável que deve ser reservada para o volume de água coletado dos apartamentos (m), V_2 é o volume de água do reservatório inferior de água potável destinado para armazenar a água dos apartamentos (m^3), A_b é a área da base do reservatório inferior de água potável (m^2). Para situações em que o volume coletado de água de todos os ramais for muito grande, por exemplo, em edifícios altos, a ponto de inviabilizar a compatibilização proposta na Figura 6 deve ser previsto um reservatório inferior de água potável adicional conectado ao reservatório inferior de água potável usual.

Para uma edificação unifamiliar em que não está prevista a instalação de reservatório inferior, a sugestão para a instalação do sistema seria utilizar um reservatório auxiliar. Este reservatório ficaria em uma cota inferior à do reservatório principal. A água fria proveniente do reservatório principal, que passa pelo aquecedor e posteriormente passa pelas tubulações do sub-ramal do chuveiro devem possuir pressão estática suficiente para retornar para este reservatório auxiliar. O restante da conformação para uma residência unifamiliar seria instalado conforme orientado para uma edificação multifamiliar.

O funcionamento do sistema automatizado resume-se ao acionamento de um botão para direcionar quantidade específica de água fria de cada aparelho sanitário, abastecido por água quente, para o seu devido fim. A válvula solenóide acoplada no final do ramal de água quente da residência é do tipo normalmente fechada, ou seja, sua abertura será apenas efetuada com o recebimento de um sinal elétrico.

Portanto, para cada ponto de consumo de água quente da residência, foi realizado um cálculo estimado do volume de água presente no trecho da tubulação do aquecedor até este ponto. A partir do valor da vazão da válvula solenóide é possível identificar o tempo necessário para eliminar esta quantidade de água fria que fica em repouso na tubulação por meio do sistema proposto. A cada aparelho da residência, conforme a distância e vazão da válvula solenóide, estará associado um tempo necessário para eliminar a água fria da tubulação de água quente. Este tempo característico de cada aparelho estará programado individualmente para cada botão próximo aos aparelhos. Ao realizar o acionamento deste botão, o sistema reconhecerá o tempo que a válvula solenóide no final do ramal principal necessita ficar aberta para que a água quente atinja as proximidades do ponto de consumo desejado.

A Figura 7 ilustra um esquema sem escala dos circuitos eletrônicos que ficariam embutidos na alvenaria. O botão próximo ao aparelho de consumo de água quente é conectado a um microcontrolador Arduino que se conecta a um transmissor do módulo de radiofrequência. O transmissor, portanto, envia a informação de tempo de abertura da válvula solenóide para o receptor que está conectado a outro microcontrolador Arduino que está conectado também com a válvula solenóide. O receptor recebe o pacote de informações do transmissor, transfere as informações para o Arduino, que por sua vez comanda a abertura da válvula solenóide.

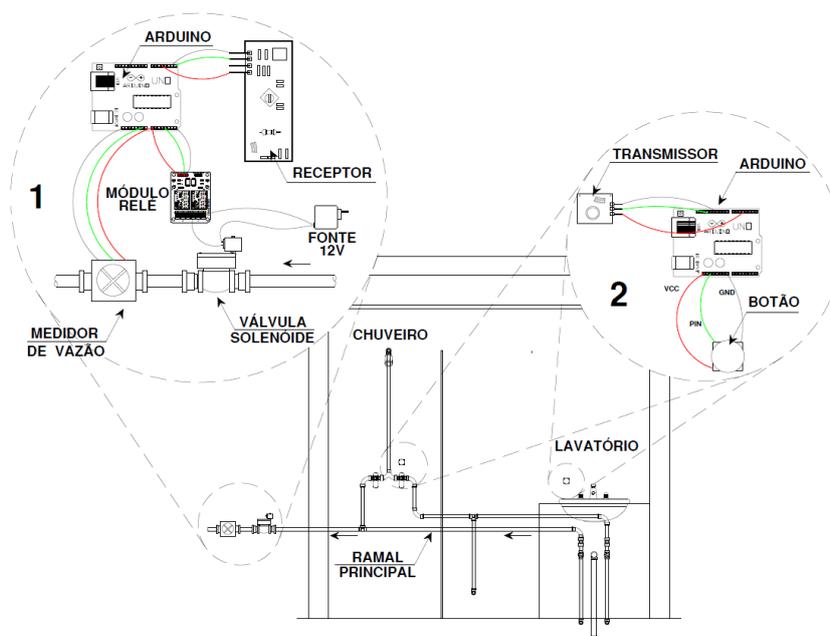


Figura 7: Circuito eletrônico da ideia proposta.

Para sinalizar ao usuário que se deve iniciar a abertura do registro de água quente, o Arduino acionará uma lâmpada LED vermelha que indicará que toda a água fria foi escoada da tubulação em direção ao reservatório inferior. Outra opção seria instalar um botão que retorna para o seu estado inicial após decorrido o tempo que está programado para a válvula ficar no estado aberto.

O funcionamento do sistema em uma residência unifamiliar é semelhante ao funcionamento do sistema para uma residência multifamiliar. A diferença consiste em analisar o modo mais viável para a disposição dos equipamentos auxiliares, como tubulações e reservatórios. Diferentemente do sistema aplicado às residências multifamiliares, pode ser mais viável, em termos de economia com custos de tubulações, direcionar a água fria economizada pelo sistema para uma prumada específica da residência unifamiliar para abastecer apenas um aparelho sanitário, como por exemplo, um vaso sanitário. Dificilmente uma residência unifamiliar irá possuir um reservatório inferior, que esteja a uma cota inferior à dos aparelhos sanitários da residência. Portanto, para cada residência deve ser feito um estudo específico para a instalação mais conveniente e viável para o sistema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em uma residência unifamiliar localizada no município de São Lourenço do Oeste foi possível obter os valores de desperdício da torneira do tanque da área de serviço, que é o ponto de consumo de água quente mais

próximo do aquecedor, e também da torneira do banheiro, que é o ponto de consumo de água quente mais afastado do aquecedor. Esta informação pode ser confirmada ao se analisar o comportamento da temperatura de um ponto de consumo mais afastado do aquecedor após a utilização de outro ponto de consumo mais próximo do aquecedor. As Figuras 8 e 9 ilustram exatamente este comportamento. Ao todo, três medições de desperdícios foram tomadas para cada ponto de consumo.

Na Figura 8 é possível verificar, por meio da linha tracejada, que o desperdício de água fria no banheiro da residência unifamiliar, que é o ponto mais afastado do aquecedor de água, reduz caso o ponto de consumo da torneira da área de serviço, que é o ponto mais próximo do aquecedor, tenha sido utilizado previamente. Imediatamente depois do uso de água quente da torneira da área de serviço, para a água sair da torneira do banheiro com uma variação positiva da temperatura, por exemplo, ocorre um desperdício de aproximadamente 1,5 litros a menos do que a média de desperdício encontrada sem utilização prévia de um ponto de consumo mais próximo do aquecedor.

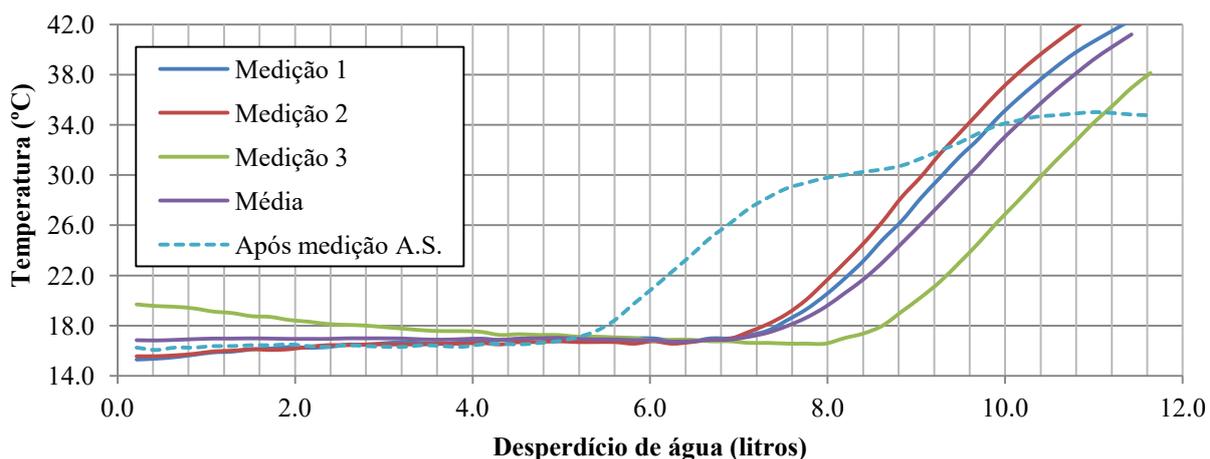


Figura 8: Volume de água desperdiçado até a água escoar pela torneira do banheiro a uma determinada temperatura.

Na Figura 9 é possível visualizar o mesmo efeito do caso anterior, porém, com um desperdício ainda menor de água fria caso ocorra a utilização de um ponto de consumo de água quente mais afastado do aquecedor previamente ao uso de um ponto mais próximo do aquecedor. Neste exemplo as medições de temperatura são tomadas da torneira da após ter feito uso da torneira do banheiro, que é o ponto de consumo de água quente mais afastado do aquecedor de passagem a gás. Verifica-se que para a água apresentar variações positivas na temperatura ocorre um desperdício de apenas 1,25 litros de água fria. Para alcançar uma temperatura de 30°C ocorre um desperdício de 5,00 litros de água fria, ou seja, 3,8 litros a menos do que o desperdício encontrado em média, de 8,8 litros.

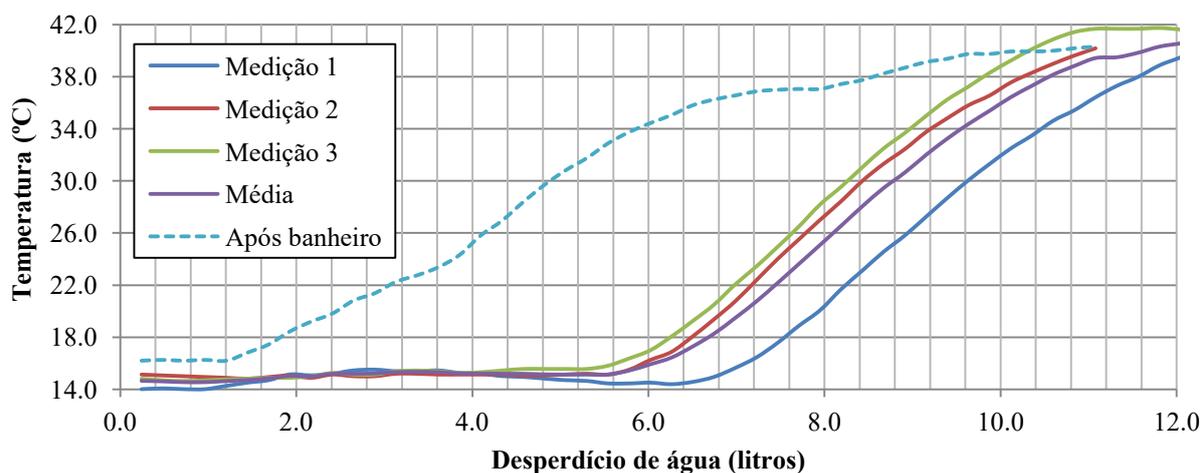


Figura 9: Volume de água desperdiçado até a água escoar pela torneira da área de serviço da residência unifamiliar a uma determinada temperatura.

Com esta análise é possível concluir, mesmo sem a verificação do projeto hidráulico ou *as built*, que o ponto de consumo de água quente da área de serviço é o ponto mais próximo do aquecedor de passagem. Deste modo, aceita-se a premissa de instalar um sistema que libera a água fria contida na tubulação por meio de uma válvula no ponto mais distante do aquecedor de água do sub-ramal de água quente, conforme a ideia proposta por este trabalho.

A Figura 10 ilustra a medição realizada na residência multifamiliar. Com a análise da Figura 10 pode-se obter o volume de água desperdiçado até a temperatura da água atingir um determinado valor. Na medição 1, identifica-se que a temperatura começa a aumentar após ter escoado aproximadamente 6,1 litros de água fria. Ressalta-se que a medição 1 é a que melhor representa a realidade, tendo em vista que para as medições 2 e 3 o resfriamento da tubulação foi forçado, podendo não representar a temperatura ambiente em que a água da tubulação se encontra normalmente nas suas condições de isolamento. Para as medições 2 e 3 o volume de água coletado da torneira até a temperatura da água começar a variar foi de, respectivamente, 7,0 e 5,4 litros, resultando na média de aproximadamente 6,2 litros.

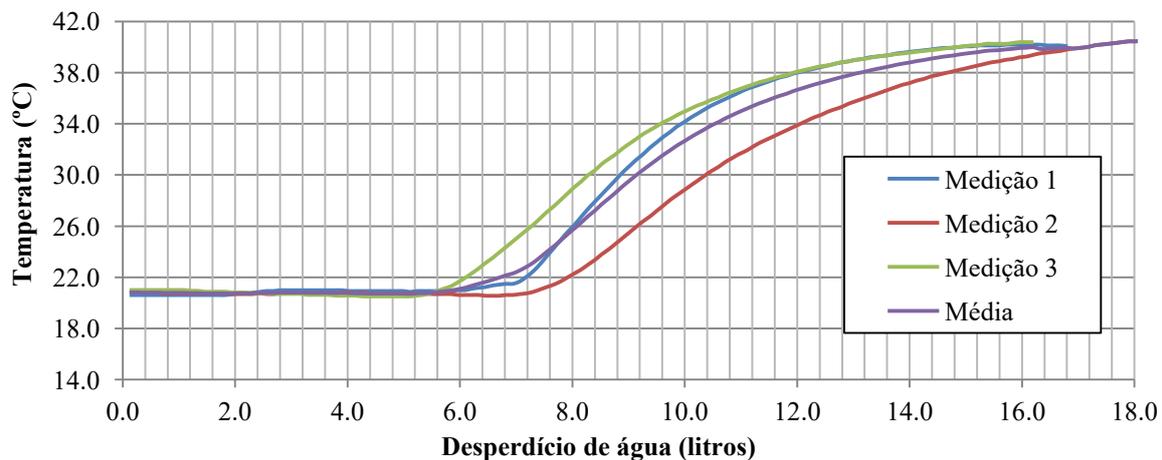


Figura 10: Volume de água desperdiçado até a água escoar pela torneira da área de serviço da residência multifamiliar a uma determinada temperatura.

Para a água que sai desta torneira atingir 30°C, na medição 1 encontrou-se um desperdício de 8,9 litros, e nas medições 2 e 3, encontraram-se desperdícios de 10,5 litros e 8,3 litros, respectivamente, resultando em uma média de desperdício de 9,2 litros. Portanto, para se obter o valor que realmente será desperdiçado deve-se considerar o tempo que a água necessita para atingir temperaturas confortáveis ao usuário. Neste caso, este desperdício decorrente deste tempo de espera para que a água aqueça representou um volume de aproximadamente 33% do total desperdiçado. Para este apartamento, o aquecedor de passagem localiza-se a uma distância inferior a 3,0 metros lineares da torneira analisada.

Conforme descrito no método, para uma melhor eficiência, a conformação do sistema automatizado em uma residência deve ser realizada de modo que as tubulações de água quente passem o mais próximo possível dos pontos de consumo de água. A Figura 11 ilustra como deveria ser a disposição das tubulações para a planta baixa da instalação hidráulica apresentada no método. A Figura 12 ilustra uma sugestão para o esquema vertical da instalação hidráulica para a região onde se encontram os banheiros da planta baixa da Figura 11.

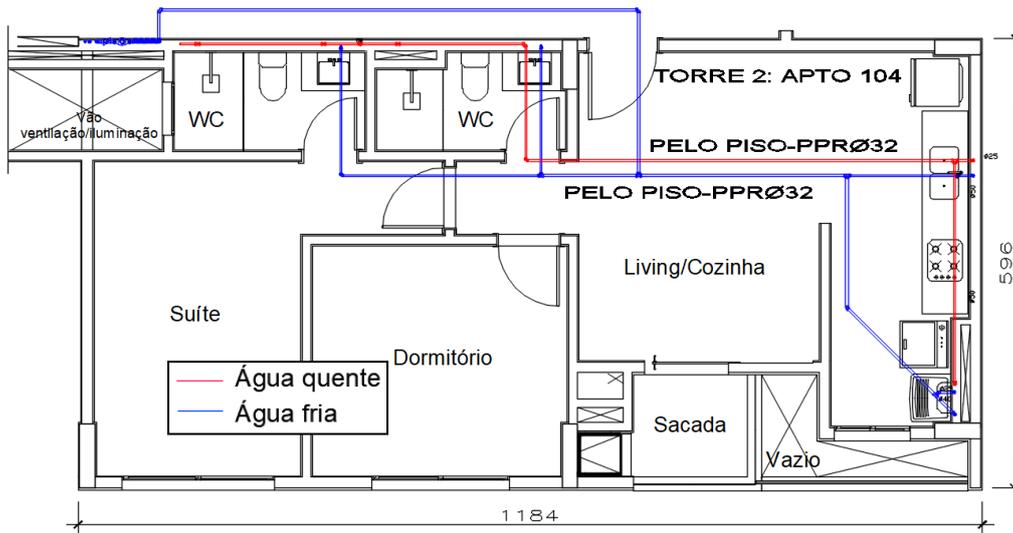


Figura 11: Planta baixa da instalação hidráulica modificada para a planta baixa da Figura 2.

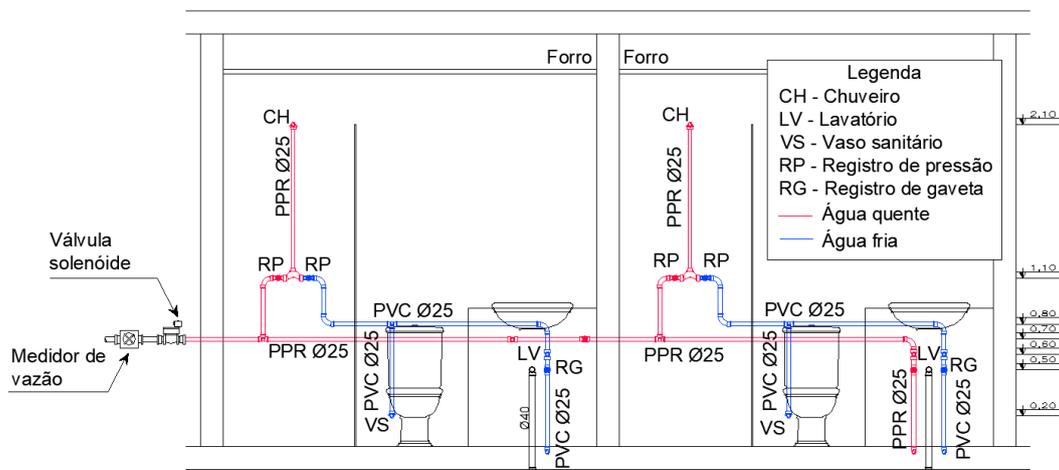


Figura 12: Esquema vertical da instalação hidráulica modificada para o esquema vertical da Figura 3.

Neste exemplo, verifica-se que seria possível instalar a válvula solenóide e o medidor de vazão próximos ao ponto de consumo mais afastado do aquecedor, pois há a presença de um vão de iluminação e ventilação na proximidade que poderia servir como o espaço para as tubulações de descida conduzirem a água fria, que seria desperdiçada, para o reservatório inferior da edificação. Para o projeto do apartamento ilustrado nas Figuras 4 e 5 devem ser realizadas as alterações das tubulações de água quente conforme sugerido nas Figuras 13 e 14. Com a mudança da configuração do projeto hidráulico de água quente o comprimento de tubulação adicional foi de 3,0 metros e o número de conectores permaneceu o mesmo.

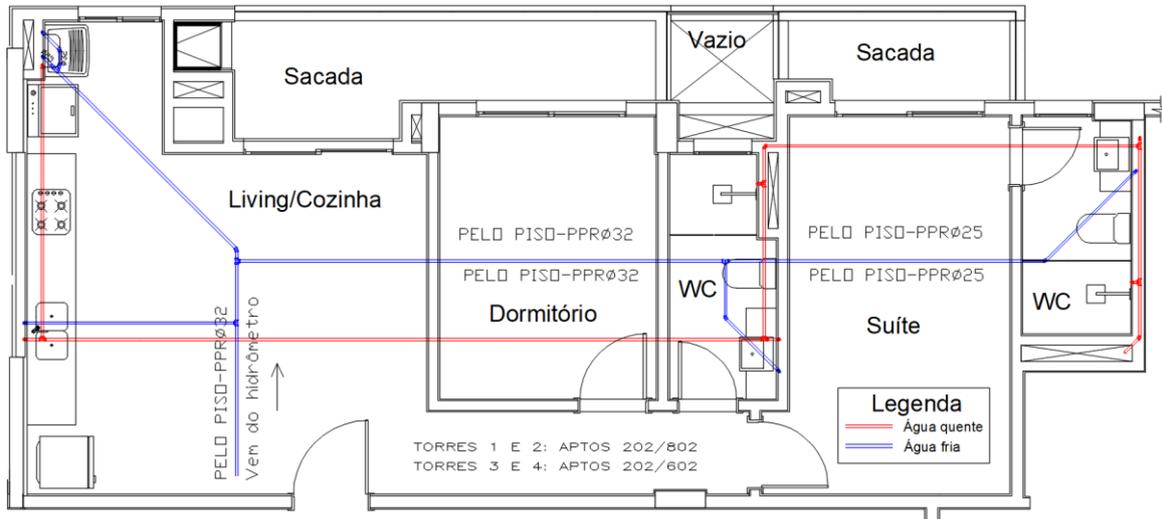


Figura 13: Planta baixa da instalação hidráulica modificada para a planta baixa da Figura 4.

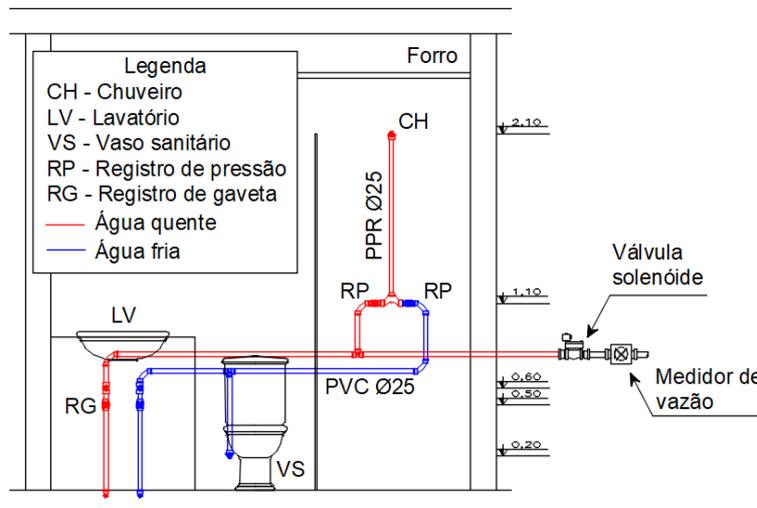


Figura 14: Esquema vertical da instalação hidráulica modificada para o esquema vertical da Figura 5.

O reservatório inferior pode ser um reservatório de coleta de água pluvial previsto em projeto para a edificação ou um reservatório de contenção de água pluvial. Algumas cidades preveem em seus códigos de obra a possibilidade de execução de um reservatório de contenção de água pluvial para lotes em que a taxa de permeabilidade é menor que os limites preestabelecidos, como é verificado para o município de Joinville - SC (JOINVILLE, 2017). A água fria proveniente do sistema proposto poderia ser direcionada para estes reservatórios e ser utilizada em descargas de vasos sanitários, por exemplo. Outros reservatórios inferiores possíveis de serem adaptados ao sistema proposto são os reservatórios de edificações multifamiliares localizadas em pontos dos municípios onde o abastecimento de água é de baixa pressão. Para que o reservatório principal seja abastecido é necessário um reservatório inferior interligado por meio de bombas de recalque. Esta configuração, por exemplo, é obrigatoriedade prevista no código de obras de algumas cidades do sul do Brasil (FLORIANÓPOLIS, 2000; GASPAS, 1988; PORTO ALEGRE, 1992; SÃO JOAQUIM, 1987).

A Figura 15 ilustra um esquema de como seria a instalação predial, desde a coleta da água pelo sistema automatizado dos pontos de consumo de água quente de todos os apartamentos até a destinação desta água, que seria o reservatório inferior de água potável da edificação.

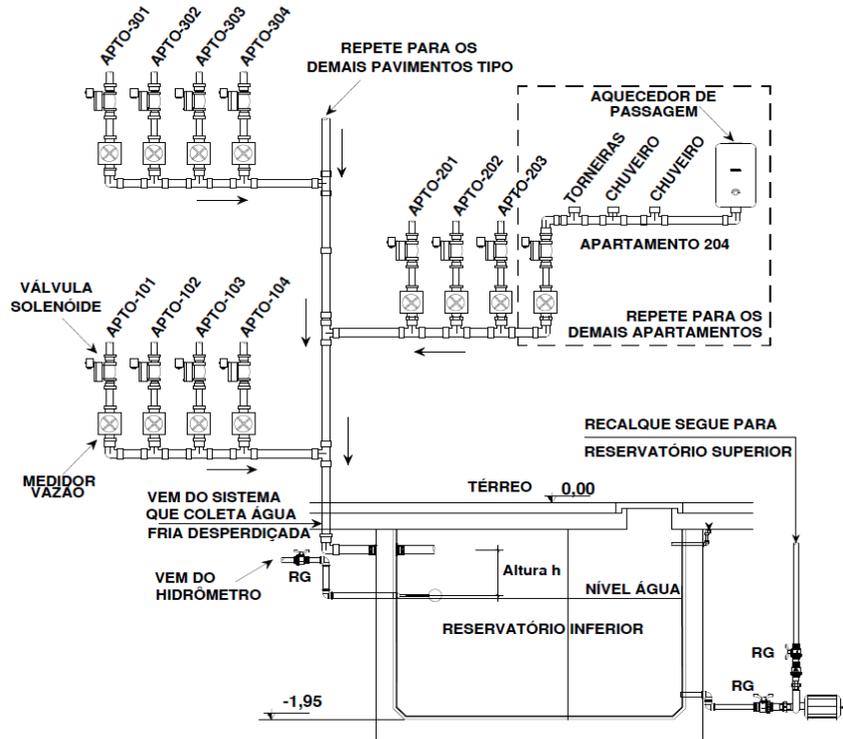


Figura 15: Esquema vertical da instalação predial da ideia proposta.

Para que o sistema automatizado funcione em uma edificação unifamiliar é necessário haver na edificação um reservatório de proporções adequadas para coletar a água fria desperdiçada. Diferentemente do sistema aplicado a uma edificação multifamiliar, a quantidade de água direcionada para o reservatório seria bem inferior. Portanto, o que se propõe é a instalação de um reservatório auxiliar de proporções menores que o reservatório principal. Este reservatório auxiliar deve estar próximo ao reservatório principal e conectado a ele, conforme indicado na Figura 16.

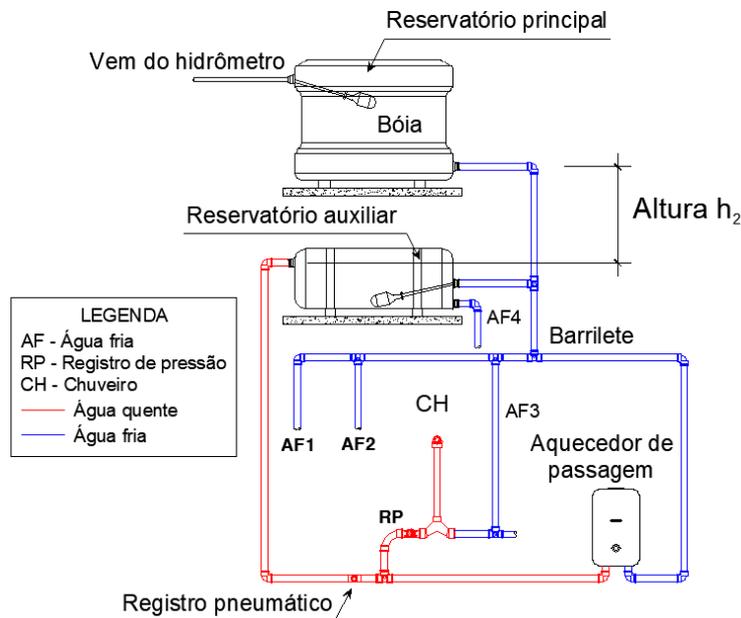


Figura 16: Instalação do sistema de redirecionamento para uma edificação unifamiliar sem reservatório inferior.

O funcionamento do sistema em uma residência unifamiliar para um chuveiro, por exemplo, poderia ser realizado por meio do acionamento de um registro pneumático ajustado com a abertura para um tempo relativo ao escoamento da quantidade de água existente na tubulação entre o aquecedor e o ponto de consumo em questão. Este registro, para facilitar a utilização do sistema, seria instalado próximo aos registros de pressão do chuveiro, conforme indicado na Figura 16. A água que retorna para o reservatório auxiliar poderia ser utilizada então para um ou mais vasos sanitários abastecidos por uma prumada específica, indicada na Figura 16 por AF4. Para que o volume de água do reservatório auxiliar não fique dependente apenas da água proveniente do redirecionamento de água fria do banho, uma boia pode ser instalada em uma cota abaixo da entrada de água de desperdício estrutural possibilitando o enchimento de parte do reservatório auxiliar por meio do reservatório principal. Para isto a altura h_2 , indicada na Figura 16, deve ser a altura máxima para que a água consiga retornar considerando todas as perdas de carga das conexões e metros lineares de tubulação.

5. CONCLUSÕES

Por meio deste trabalho foi possível apresentar a conformação e funcionamento de um sistema automatizado que evita o desperdício de água durante o consumo de água quente por aparelhos sanitários de uma edificação. Mediante a medição do desperdício de água em dois pontos de consumo de uma residência foi possível concluir que em pontos de consumo de água quente mais afastados do aquecedor de água ocorre maior demora para a água quente atingir estes pontos, portanto causando maiores desperdícios de água fria. Propondo-se um sistema concebido de forma que as tubulações hidráulicas de água quente sejam instaladas nas proximidades dos pontos de consumo e com uma válvula solenóide e os demais equipamentos necessários no final do ramal é possível direcionar para outro reservatório ou destino a água que seria desperdiçada. Este trabalho é de grande importância para guiar o planejamento do sistema para diferentes edificações. Como a instalação e concepção depende principalmente do layout da edificação, cada projeto deve ter sua própria análise de viabilidade técnica e até mesmo econômica.

6. AGRADECIMENTOS

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

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 5626: Instalação predial de água fria. 41 p., 1998.
2. ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 13103 - Adequação de ambientes residenciais para instalação de aparelhos que utilizam gás combustível. 33 p., 2013.
3. ALLY, M.R.; TOMLINSON, J.J. *Water and Energy Savings using Demand Hot Water Recirculating Systems in Residential Homes: A Case Study of Five Homes in Palo Alto, California, Oak Ridge National Laboratory (ORNL), 2002*. Disponível em: <<http://www.osti.gov/bridge>>. Acesso em: setembro de 2019.
4. 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.
5. CHILIPEPPER. *Chilipepper appliance. Current Model: CP9000*. Disponível em: <<https://chilipepperapp.com/index.php/how-it-works-2/>>. Acesso em: março de 2020.
6. ELETROBRAS - Centrais Elétricas Brasileiras S. A., PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Pesquisa de Posse de equipamentos e Hábitos de Uso - Casse Residencial - Relatório Brasil. Rio de Janeiro, 2019.
7. FLORIANÓPOLIS, Lei Complementar nº 60 (2000), Capítulo XVI - INSTALAÇÕES EM GERAL, Seção I - INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS, Art. 221. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-florianopolis-sc>> Acesso em: março de 2020.
8. FORTLEV. home. meio ambiente. Coletor Ecobanho FORTLEV. 2020. Disponível em: <<https://www.fortlev.com.br/produto/ecobanho/>>. Acesso em: março de 2020.

9. GASPAR, Lei nº 1155 (1988), Capítulo VI - DAS CONDIÇÕES GERAIS RELATIVAS ÀS EDIFICAÇÕES, Seção VIII - DOS RESERVATÓRIOS DE ÁGUA, Art. 149. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-gaspar-sc>> Acesso em: março de 2020.
10. 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.
11. IORIS, M.D. Viabilidade da implementação de um sistema automatizado de redirecionamento de água fria que seria desperdiçada no banho. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2018.
12. JOINVILLE. Lei Complementar nº 502 (2018). Capítulo II - DOS DISPOSITIVOS DE CONTROLE DA OCUPAÇÃO, Seção VII - DA TAXA DE PERMEABILIDADE, Art. 76, Parágrafo 2º. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a1/plano-de-zoneamento-uso-e-ocupacao-do-solo-joinville-sc>> . Acesso em: novembro de 2019.
13. KLEIN, G. *Hot Water Distribution Research*. 2006. Disponível em: <<http://www.thousandhomechallenge.com/sites/default/files/user-files/documents/HotWaterDistributionPart4.pdf>>. Acesso em: novembro de 2019.
14. 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.
15. 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: <<http://www.allianceforwaterefficiency.org/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=2252>>. Acesso em: março de 2020.
16. PASETTI, G.O. Automação e otimização energética de uma unidade de aquecimento solar doméstica. Dissertação de mestrado, Departamento de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.
17. PORTO ALEGRE, Lei Complementar nº 284 (1992), Título XII - INSTALAÇÕES EM GERAL, Capítulo I - INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS, Art. 177. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-porto-alegre-rs>> Acesso em: março de 2020.
18. SÃO JOAQUIM, Lei nº 1.363 (1987), Capítulo VI - DAS CONDIÇÕES GERAIS RELATIVAS ÀS EDIFICAÇÕES, SEÇÃO VIII -DOS RESERVATÓRIOS DE ÁGUA, Art. 152. Disponível em: <<https://www.diariomunicipal.sc.gov.br/site/?r=site/acervoView&id=824973>> Acesso em: março de 2020.
19. 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: <<http://showerstream.net/wp-content/uploads/2016/05/Disaggregating-Residential-Shower-Warm-Up-Waste.pdf>>. Acesso em: março de 2020.
20. THINKEVOLVE. Evolve technologies. Showerheads. Showerstart TSV3. 2020. Disponível em: <<https://www.thinkevolve.com/>> Acesso em: março de 2020.
21. WOOD, A.; D'ACQUISTO, J. *Pilot Study for a Thermostatic Shower Restriction Valve. International Energy Program Evaluation Conference, Long Beach, 2015*. Disponível em: <<http://docplayer.net/38354931-Pilot-study-for-a-thermostatic-shower-restriction-valve.html>>. Acesso em: março de 2020.