

SIMPLIFICANDO O REAPROVEITAMENTO DE ÁGUAS SERVIDAS: UM ENFOQUE NA AUTOMAÇÃO

Josenalde OLIVEIRA (1)*; Leonardo TEIXEIRA (2); Anderson JACINTO (3)

(1) Escola Agrícola de Jundiá, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN 160, Km 03, Macaíba-RN, e-mail: josenalde@eaj.ufrn.br

(2) Escola Agrícola de Jundiá, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN 160, Km 03, Macaíba-RN, e-mail: leonardorlt@gmail.com

(3) Agrícola de Jundiá, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN 160, Km 03, Macaíba-RN, e-mail: andinho_vyrus@gmail.com

RESUMO

Seja na indústria, na produção de alimentos, no saneamento ou na higiene pessoal, tem-se observado o incremento substancial das necessidades hídricas para a perenidade social e econômica das nações. Nesse sentido, há um esforço coletivo por conscientização, mudança de hábitos e desenvolvimento de tecnologias que contribuam para o enfrentamento da escassez. A observação de que algumas ações cotidianas não necessitariam de água potável proveniente dos reservatórios residenciais convencionais e dos sistemas públicos de abastecimento constitui a principal motivação para este trabalho. Entre tais ações destaca-se a descarga em vasos sanitários, que representa uma parcela considerável do uso per capita de água em uma residência. Este trabalho propõe uma solução de engenharia focada na transferência de tecnologia, ou seja, na possibilidade da técnica ser facilmente implantada e operacionalizada, além da preocupação com o processo de manutenção do sistema. A simplificação da eletrônica necessária à automatização possibilitou a construção de um protótipo eletro-hidráulico, utilizando de sensores de nível, bomba, reservatórios, tubulações e conexões obtidas a partir de materiais reciclados. O protótipo apresentado demonstra o funcionamento do sistema em escala laboratorial e acadêmica e motiva a posterior industrialização e utilização efetiva do sistema para o não desperdício de água potável.

Palavras-chave: eletrônica digital, reciclagem de materiais, reaproveitamento de água

1 INTRODUÇÃO

Os recursos globais de água doce estão ameaçados pelo aumento da demanda populacional. Esse crescimento implica na necessidade de cada vez mais água potável para higiene, saneamento, produção de alimentos e para a indústria. Enquanto isso, a mudança climática deve contribuir para secas. Atualmente, uma entre seis pessoas, o que significa mais de um bilhão, se recusa do acesso inadequado à água potável. Segundo dados da Organização das Nações Unidas (ONU¹), atualmente, 1,1 bilhão de pessoas no mundo não têm acesso à água potável e 2,6 bilhões - cerca da metade da população mundial - à de higiene pessoal. Até 2025, também segundo a ONU, os recursos de água doce sofrerão estresse - por exemplo, quando passar a exigirem uma demanda maior que a disponível ou segura para uso - ou escassez. Até a metade do século, pelo menos três quartos da população do planeta poderá enfrentar escassez de água (ROGER, 2008). Nesse sentido, há um esforço coletivo por conscientização, mudança de hábitos e desenvolvimento de tecnologias financeiramente acessíveis que contribuam para esse enfrentamento. Uma das soluções que tem se mostrado eficaz é o reaproveitamento de águas não potáveis, as denominadas *águas servidas*. Esses resíduos são procedentes de

¹ Com o objetivo de chamar a atenção para a questão da escassez da água e, conseqüentemente, buscar soluções para o problema, a ONU instituiu em 1992 o Dia Mundial da Água: 22 de março. Entre várias ações da ONU, destacam-se o lançamento da Década Internacional de Ação *Água para a Vida 2005-2015* e da Declaração Universal dos Direitos da Água.

lavanderias manuais ou eletromecânicas, bebedouros, chuveiros, entre outras fontes. Em Prado e Muller (2007) é apresentado um esquema para sistema automatizado em prédios de reaproveitamento de águas pluviais, o qual utiliza eletrônica e dispositivos de automação de custo considerável. A reciclagem de águas também é estimulada pelo relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*²) de 2007 ao propor que devem ser adotadas ou ampliadas políticas de coleta da chuva, de técnicas de conservação e de reutilização, além da irrigação eficiente. A esses esforços soma-se a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (*Food and Agriculture Organization – FAO*) em sua divisão específica para a água, a *FAO WATER*.

1.1 A questão das águas servidas

Todos os dias milhares de litros de água de esgotos são lançados nos rios, mares, lagos e mananciais sem nem um tipo de tratamento. Se houvessem planos para o reaproveitamento de parte dessa água e tratamento da parte que vai para os rios, estaríamos dando um grande passo nessa direção. O saneamento básico seria um forte aliado para redução de resíduos a serem lançados nos rios, porém, essa não é uma realidade para todos. É possível perceber a falta de preocupação das pessoas com esse problema. Muitos, apesar de conhecer o problema, insistem em desperdiçar este bem tão precioso. Muitas vezes por falta de opção ou conhecimento de maneiras alternativas para se economizar água sem deixar de executar as tarefas do dia-a-dia, como lavar carros, calçadas, entre outras atividades que não necessitam de uma água tão limpa quanto a que se utiliza para estes fins.

Estão sendo realizadas pesquisas para estudar formas de se reciclar a água servida e usá-la para a irrigação de plantações, por exemplo. Todas as residências têm água servida resultante da lavagem de roupas, louça e dos banhos. Se for tratada, a fim de se remover a maior parte do conteúdo de sabão, toda esta água pode ser usada para a irrigação e *descargas em vasos sanitários*. Embora não seja um objetivo particular deste trabalho, podem-se fazer filtros muito simples com barris ou tambores com camadas de carvão e areia para filtrar as substâncias químicas e o teor de sabão, para que a água não apresente um odor intolerante.

1.2 Dimensionando a necessidade e uso per capita de água

Uma discussão importante é: qual a necessidade mínima de água para uma pessoa satisfazer suas necessidades básicas diárias, como cozinhar, beber e assear-se? Quanto se usa na realidade? Depende esta de algum fator externo, como classe social e localidade? A definição de uma quantidade mínima de água suficiente para suprir a demanda residencial é um assunto polêmico e complexo, envolvendo aspectos sociais, culturais, regionais e econômicos, inclusive relacionados à sustentabilidade dos sistemas de abastecimento (COHIM *et al.*, 2009). Assim, apesar de defendida por vários pesquisadores, entidades e organizações, até hoje não se estabeleceu uma cota mínima a ser garantida a todos os cidadãos. Les (1998) traz um histórico de pesquisas, variando bastante as necessidades hídricas de acordo com a região e classe social. Seu estudo, inclusive, estende-se para a quantidade de água para garantir a subsistência em campos de refugiados. Gleick (1996) propõe que a quantidade mínima per capita seja de 50 litros/pessoa/dia, suficientes para suprir as necessidades básicas de ingestão, higiene, serviços sanitários e preparo dos alimentos, baseado nos consumos mínimos para diversos usos. Por exemplo, para serviços sanitários um mínimo de 20 litros, enquanto que para banho 15 litros. Após realizar pesquisas no município de Feira de Santana – BA, Almeida (2007) concluiu que, em média, o consumo era de 115 litros/pessoa/dia, sendo as maiores demandas na pia da cozinha, lavatório e chuveiro, respectivamente. A descarga era responsável por 8 litros deste total.

1.3 Objetivos e relevância do trabalho

As motivações apontadas nas seções anteriores para o desenvolvimento deste trabalho são reforçadas pelo seguinte raciocínio: devemos procurar uma solução de engenharia para o reaproveitamento automático de águas servidas, que tenha a simplificação de circuitos eletrônicos e hidráulicos como meta principal. Esta preocupação se baseia no fato de que devemos promover a transferência de tecnologia de modo a torná-la acessível ao maior número de pessoas possível. Circuitos complexos, com muitos detalhes e uso de

² Os relatórios completos podem ser encontrados em <http://www.ipcc.ch/>

componentes eletrônicos não convencionais podem encarecer o projeto como um todo. Adicionalmente, do ponto de vista didático-pedagógico, nós, os alunos, temos a oportunidade de partir de uma situação/problema real e pensar sobre o uso da eletrônica como uma forma de automatizar processos, não meramente acadêmicos, mas de impacto social relevante.

Entre os principais objetivos e contribuições a que esse trabalho se destina, poder-se-ia citar:

- contribuir para a redução de desperdício de água limpa/potável de modo geral e, particularmente, substituindo o uso da mesma por águas servidas e tratadas, geradas no próprio local e que podem ser utilizadas em ações que não demandem, necessariamente, água potável, como para as descargas sanitárias, irrigação de jardins, lavagem de carros e calçadas, entre outras;

- mostrar que se pode utilizar eletrônica de modo simples para a resolução de problemas reais. Assim propõe-se um protótipo de circuito eletrônico utilizando componentes digitais e analógicos e um esquema hidráulico que poderá ser estendido para empreendimentos físicos.

2 PROJETOS DO SISTEMA ELETRÔNICO E HIDRÁULICO

O sistema é constituído por dois módulos que se comunicam entre si: o eletrônico e o hidráulico. O módulo eletrônico compõe a “inteligência” do sistema, o qual lê as informações da planta através de sensores e, a partir de expressões lógicas, produz saídas que agem nos dispositivos do módulo hidráulico, mais especificamente as válvulas e a bomba. O módulo hidráulico ainda é composto por canos, mangueira e conexões responsáveis por realizar o transporte da água – seja ela limpa ou servida.

O sistema é composto por quatro válvulas, uma bomba, quatro sensores, duas caixas d’água e um reservatório de águas servidas. Um esquema geral do sistema pode ser visto na Figura 1.

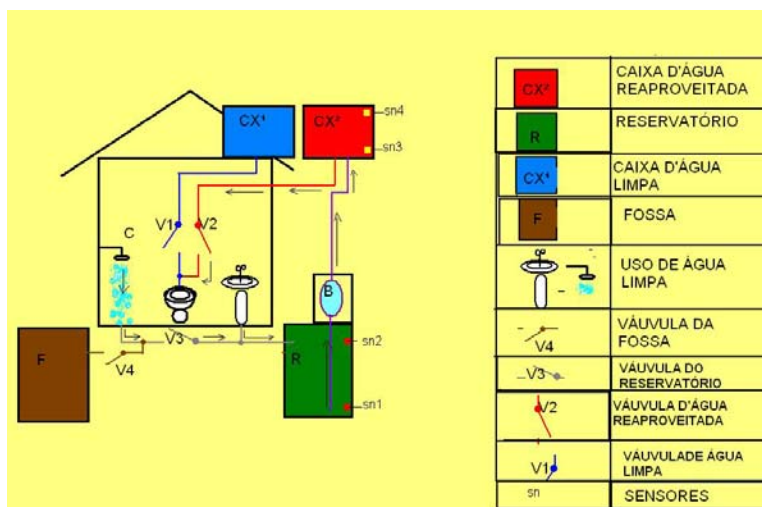


Figura 1 - Esquema geral do Sistema Simplificado para Reaproveitamento de Águas Servidas

2.1 Projeto Eletrônico

A primeira parte do projeto consiste em definir quais seriam as entradas – responsáveis por ceder informações da planta para o sistema - e saídas – dispositivos físicos que o sistema deve controlar

Foi observado que seria necessária a presença de quatro sensores de nível:

- Sensor 1 (SN1): indica que existe água servida no reservatório;
- Sensor 2 (SN2): indica se o reservatório está cheio;
- Sensor 3 (SN3): indica se existe na caixa d’água servida o mínimo necessário de água servida para ser utilizada em uma descarga;
- Sensor 4 (SN4): indica se a caixa d’água servida está cheia.

Em nível de simulação em matriz de contatos, chaves simples foram utilizadas como sensores. Ao ser realizado o estudo das saídas, foram identificadas quatro válvulas solenóides e uma bomba que o sistema deveria controlar:

- Válvula 1 (V1): responsável por permitir, ou não, a passagem de água limpa para uso na descarga;
- Válvula 2 (V2): responsável por permitir, ou não, a passagem de água servida para uso na descarga;
- Válvula 3 (V3): responsável por permitir, ou não, a passagem de água servida para o reservatório;
- Válvula 4 (V4): responsável por permitir, ou não, a passagem de água servida para a fossa;
- Bomba (B): responsável por realizar o transporte da água do reservatório até a caixa d'água servida.

Definidas as variáveis de entrada e saída, convencionou-se a representação (semântica) de valores lógicos 0's e 1's para os sensores, válvulas e a bomba, como descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores lógicos e semânticos associados

Valor Lógico	Sensores	Válvulas	Bomba
0	Desativado	Válvula desenergizada – não deixa passar água	Desligada
1	Ativado	Válvula energizada – deixa passar água	Ligada

Observadas as convenções criadas anteriormente, foi criada a tabela-verdade do sistema (Tabela 2):

Tabela 2 – Tabela-verdade representativa do sistema

SN1	SN2	SN3	SN4	V1	V2	V3	V4	B
0	0	0	0	1	0	1	0	0
0	0	0	1	X	X	X	X	0
0	0	1	0	0	1	1	0	0
0	0	1	1	0	1	1	0	0
0	1	0	0	X	X	X	X	0
0	1	0	1	X	X	X	X	0
0	1	1	0	X	X	X	X	0
0	1	1	1	X	X	X	X	0
1	0	0	0	1	0	1	0	1
1	0	0	1	X	X	X	X	0
1	0	1	0	0	1	1	0	1
1	0	1	1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	1	0	0	1	1
1	1	0	1	X	X	X	X	0
1	1	1	0	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	1	0	1	0

O 'X' foi utilizado para indicar as condições denominadas por *don't care*, as quais não devem ocorrer na prática, ao menos que haja falha nos sensores. Elas serão bastante úteis na etapa seguinte – simplificação -, pois podemos atribuir o valor 0 ou 1 de acordo com a nossa necessidade.

Com a finalidade de obtermos o circuito mais simplificado possível, foram criados os mapas de Karnaugh (TOCCI; WIDMER; MOSS, 2007) associados a cada saída, obtendo as expressões algébricas abaixo:

$$V1 = SN3' \quad [\text{Eq. 01}]$$

$$V2 = SN3 \quad [\text{Eq. 02}]$$

$$V3 = SN2' \quad [\text{Eq. 03}]$$

$$V4 = SN2 \quad [\text{Eq. 04}]$$

$$B = SN1.SN4' \quad [\text{Eq. 05}]$$

onde o apóstrofo após a variável indica que a mesma está “barrada” ou seja, ativa em nível baixo. Obtidas as expressões lógicas relacionadas às saídas do processo de simplificação, foi realizada a simulação do sistema como um todo, fazendo uso de chaves representando os sensores e *leds* para representar as saídas. O circuito de simulação é representado pela Figura 2. Foram utilizados circuitos integrados NAND 4011BP da família CMOS pelo fato de trabalharmos com uma tensão de 12V de entrada, comum às alimentações dos relés.

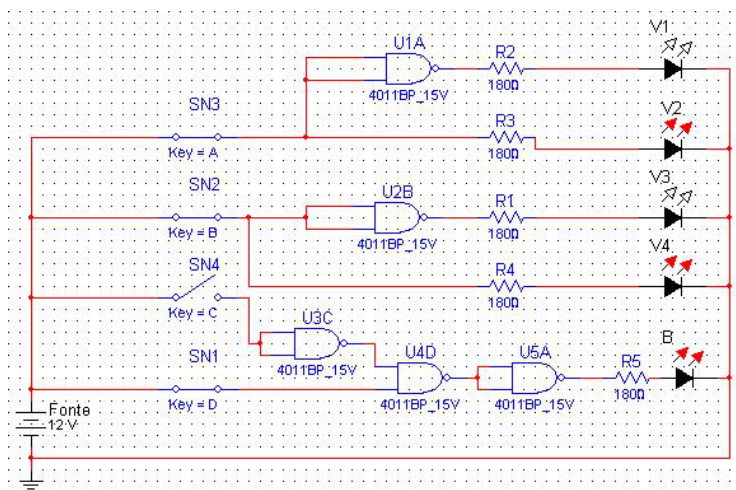


Figura 2 - Circuito equivalente usando a universalidade das portas NAND

Com o circuito lógico validado, partimos para o teste de comunicação entre o circuito e a bomba responsável por levar a água do reservatório até a caixa d'água servida. Para o teste, fizemos uso de uma bomba de pára-brisas usada, a qual era acionada com a aplicação de 12 V entre seus terminais. A corrente necessária para o acionamento da bomba era desconhecida, pois não possuíamos a especificação da mesma. Com a finalidade de garantirmos o acionamento da bomba, fizemos uso de um relé A1RC2, o qual aciona cargas de até 15 A (BRAGA, 2008). Este relé foi reaproveitado da sucata de nossa escola, em uma placa de estabilizador fora de uso. Como não sabíamos o estado do relé, realizamos o teste de chaveamento, simplesmente aplicando +12V entre os terminais da bobina. Para o acionamento do relé usamos um transistor NPN de uso geral (BC548), operando como chave, que ficou responsável por chavear a passagem ou não de corrente através da bobina. Ele consegue realizar essa funcionalidade, pois estabelece ou não a diferença de potencial entre os 12 V aplicados na bobina com a referência terra. O esquema de ligação da saída do circuito lógico relacionado com a bomba (B) e a bobina do relé é apresentado na Figura 3. Os materiais eletrônicos necessários para a construção do sistema são, portanto, 4 sensores de nível, 4 válvulas solenóides NF/220VAC, 1 bomba 12VCC, 3 resistores de 1KΩ 1/4W, 3 transistores NPN de uso geral (BC548), 3 relés A1RC2, 1 CI 4011BP – 4 portas NAND de duas entradas (*detalhe para o uso de apenas 01 CI*) e 3 diodos 1N4004.

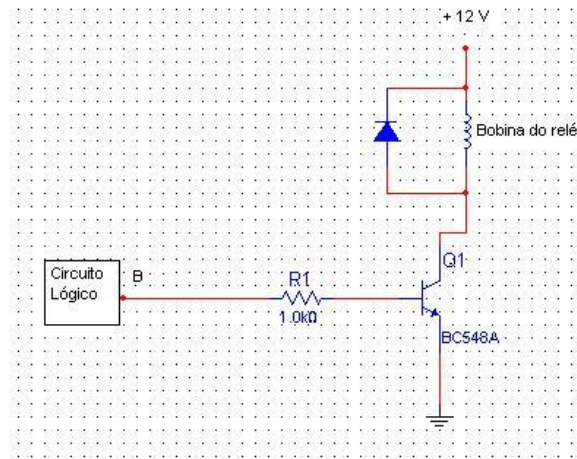


Figura 3 - Esquema para chaveamento do relé

Considerando o aspecto físico do projeto, pensamos em utilizar a própria placa lógica de um no-break, a qual em nosso caso possuía quatro relés. Retiramos um deles. Esta placa dá a sustentação aos mesmos e faz interface com o projeto hidráulico e com a *protoboard* (Figura 4). Na Figura 5 tem-se a “caixa preta” do sistema de automação com as placas embutidas.

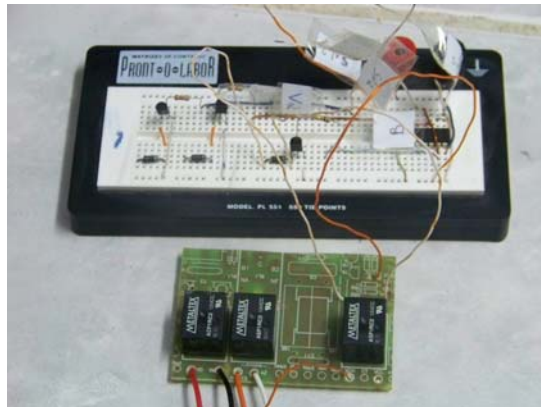


Figura 4 - Interface protoboard e placa de relés

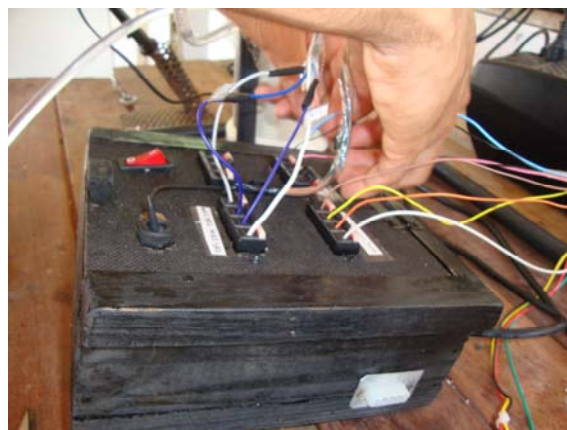


Figura 5 “Caixa preta” do sistema eletrônico

2.2 Projeto hidráulico

Com o objetivo de demonstrar a eficácia e operação do sistema automatizado proposto em escala laboratorial, foi desenvolvido um protótipo de sistema hidráulico simulando as instalações reais em um imóvel hipotético, conforme o esboço visto na Figura 6.

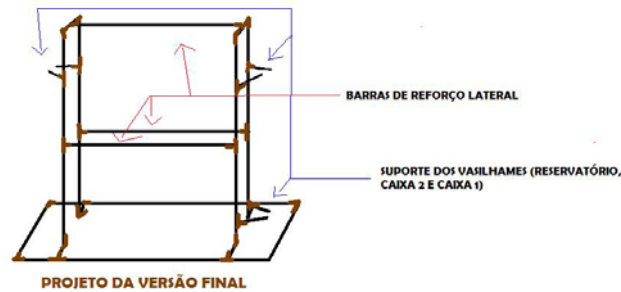


Figura 6 - – Ideia da estrutura de sustentação com as barras horizontais complementares

Além da tubulação e estrutura de sustentação construída em canos PVC, foram desenvolvidos os recipientes que simulariam as caixas d'água e reservatórios complementares, além dos sensores de nível para os mesmos (Figura 7), utilizando materiais reciclados. Adicionalmente, torneiras de saída foram instaladas, com o intuito de simular o abastecimento do reservatório de águas servidas via água do banho, por exemplo, e com o intuito de simular a descarga sanitária. Todo o sistema é controlado automaticamente, acionando a bomba e as válvulas solenóides quando recebem o comando do circuito eletrônico. Na Figura 8 tem-se um detalhe do protótipo montado.



Figura 7 – Sistema de ativação dos contatos utilizando elementos de alumínio de antena

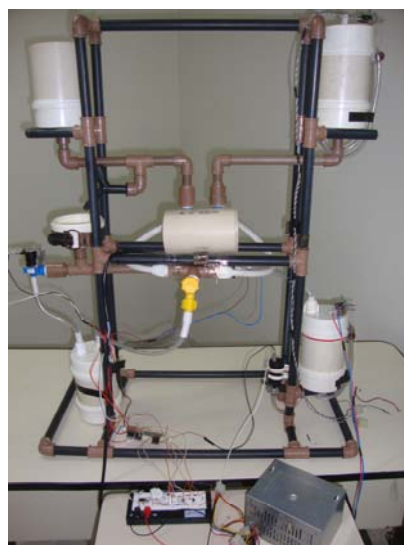


Figura 8 - – Montagem final do protótipo hidráulico

3 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O foco deste projeto reside no desenvolvimento de um circuito digital simplificado que possa ser uma alternativa aos sistemas comerciais de reaproveitamento automático de águas servidas, normalmente associados às soluções baseadas em controladores lógico-programáveis (CLPs) e microcontroladores. Nesse sentido, procuramos estimular e incentivar a reciclagem de resíduos domiciliares/prediais e é neste ponto que enfatizamos nossa proposta. Do ponto de vista de economia financeira, ou seja, de quanto poderia se reduzir os gastos com água encanada do serviço público há, simultaneamente, um acréscimo (embora não significativo) nos custos de operação do sistema (alimentação elétrica do circuito e acionamento da bomba). Em uma primeira análise, apenas financeira, poderíamos questionar a viabilidade da instalação. Mas, além de proporcionar uma redução de custo de implantação pela simplicidade do circuito, vai ao encontro mundial pelos anseios de reaproveitamento de águas e, por este ângulo, se fazem sobremodo viáveis e relevantes construções de novos estabelecimentos comerciais ou residenciais que prevejam sistemas recicláveis tal como o exposto neste trabalho.

Como perspectivas de trabalhos futuros podemos citar: integrar o circuito digital e o circuito de acionamento em uma placa de circuito impresso; estudar a especificação mais adequada de bombas para cada tipo de situação/demanda real; estudar métodos para redução do uso da bomba, e consequente redução no gasto de energia elétrica; elaborar um guia passo a passo de como construir um sistema de reaproveitamento de água em um novo empreendimento, ou realizar uma adaptação em um imóvel já existente.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. **Metodologia para caracterização de efluentes domésticos para fins de reúso: estudo em Feira de Santana, Bahia**. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo) -- Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2007.

BRAGA, N. **Testando Relés**. In: Revista Saber Eletrônica On-Line, 2008. Disponível em: <<http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/837>>. Acesso em 01/11/2009.

COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A.; DIAS, M. C. **Consumo de Água em Residências de Baixa Renda: estudo de caso**. Anais do 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 1-9, 2009.

GLEICK, P. **Basic water requirements for human activities: meeting basic needs**. Water International, n. 21, p. 83-92, 1996.

LES, R. **Diminishing standards: How much water do people need?**, 1998. Disponível em: <<http://www.icrc.org/Web/eng/siteeng0.nsf/htmlall/57JPL6>>. Acesso em: 06/11/2009.

PRADO, G. S.; MULLER, M. S. K. **Como construir sistema de reaproveitamento de águas para edifícios**. In: Técnica, n. 128, p. 77-80, 2007. Disponível em: <http://www.acquabrasilis.com.br/clippings/como_construir.pdf>. Acesso em 20/08/2009.

ROGER, P. **Preparando-se para Enfrentar a Crise da Água**. In: Scientific American Brasil, n. 76, set 2008, p. 60-67.

TOCCI, R. J.; WIDMER, N. S.; MOSS, G. L. **Sistemas Digitais: princípios e aplicações**, 10ª ed. São Paulo: Pearson Prentice-Hall, 2007.