

# Avaliação do impacto da substituição de equipamentos hidrossanitários convencionais por equipamentos economizadores no consumo de água

*Evaluation of the impact of replacing ordinary by water saving plumbing fixtures in water consumption*

Ananda Cardoso Alexandre<sup>1</sup>, Andreza Kalbusch<sup>2</sup>, Elisa Henning<sup>3</sup>

## RESUMO

O consumo racional de água é assunto de grande importância e abrangência atualmente, pois está diretamente ligado à qualidade de vida da sociedade e ao crescimento econômico das cidades. Nesse contexto, equipamentos hidrossanitários economizadores de água são opções existentes para a redução do consumo em edificações. Este trabalho teve o objetivo de quantificar o impacto da troca de equipamentos convencionais por economizadores no consumo de água em uma instituição de ensino superior. Além da troca dos equipamentos, procurou-se analisar a influência de outras variáveis, como temperatura diária e número de alunos. Para a realização da pesquisa foram instalados hidrômetros em um dos edifícios da instituição, de modo a medir o consumo isolado em bacias sanitárias, torneiras de lavatórios, torneiras de limpeza, mictórios e bebedouros. O estudo foi dividido em etapas, com leituras antes das intervenções e após a substituição dos equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água (torneiras de lavatório e válvulas de descarga) e o ajuste de vazão dos bebedouros. Para a análise estatística, utilizou-se um modelo de regressão linear múltipla que contou com o consumo como variável resposta e as trocas dos equipamentos, o número de alunos e a temperatura diária como variáveis explicativas. Os resultados obtidos revelam que a troca das torneiras foi significativa para o consumo total diário na edificação, com redução de 12,34%. Em análise individual dos equipamentos hidrossanitários, a troca apresentou-se significativa para a diminuição do consumo de água de cada tipo de equipamento.

**Palavras-chave:** uso racional de água; consumo de água; equipamentos hidrossanitários economizadores; sistemas prediais; campus universitário.

## ABSTRACT

Water conservation is a matter of great importance. It is directly linked to the quality of life of society and the economic growth of cities. In this context, water saving plumbing fixtures are an option for reduction of consumption in buildings. This study aims to assess whether the replacement of ordinary plumbing fixtures with water saving ones in a University campus has an influence on water consumption. Besides the replacement of the plumbing fixtures, the influence of other variables such as temperature and number of students is analysed. Water meters were installed in one of the campus buildings in order to measure the isolated consumption in toilets, taps, urinals and drinking fountains. The study was divided in two stages: metering before the intervention and after the replacement of ordinary equipment with water saving devices (lavatory taps and toilets) and adjust of drinking fountains flow. For statistical analysis, a multiple linear regression model was used with consumption as the dependent variable and plumbing fixture replacement, number of students and daily temperature as the explanatory variables. The results show that the replacement of taps was significant for the total daily water consumption in the building, with 19.77% of reduction. According to an individual analysis of the plumbing fixtures, the replacement proved to be significant for the reduction of water consumption.

**Keywords:** water conservation; water consumption; water saving plumbing fixtures; building systems; university campus.

<sup>1</sup>Graduada em Engenharia Civil pelo Centro de Ciências Tecnológicas (CCT) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) - Joinville (SC), Brasil.

<sup>2</sup>Graduada em Engenharia Civil pela UDESC. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (USP). Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - Joinville (SC), Brasil.

<sup>3</sup>Graduada em Engenharia Civil pela UDESC. Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSC. Doutora em Engenharia de Produção pela UFSC. Mestre em Estatística, Matemática e Computação na Universidade Aberta (Portugal).

**Endereço para correspondência:** Elisa Henning - Centro de Ciências Tecnológicas (CCT/UDESC) - Rua Paulo Malschitzki, s/n - Campus Universitário Professor Avelino Marcante - Zona Industrial Norte - 89219-710 - Joinville (SC), Brasil - E-mail: elisa.henning@udesc.br

**Recebido em:** 12/02/14 - **Aceito em:** 16/09/16 - **Reg. ABES:** 130494

## INTRODUÇÃO

Uso racional da água é um assunto de importância global e a disponibilidade hídrica afeta a sociedade como um todo. Nesse contexto, pode-se apontar a gestão do uso da água no ambiente construído como peça-chave para promoção da sustentabilidade ambiental (VELAZQUEZ; MUNGUIA; OJEDA, 2013). Em edificações, a implementação de um sistema de gestão do uso da água envolve necessariamente o conhecimento dos sistemas prediais e dos parâmetros envolvidos no uso da água no local (PROENÇA & GHISI, 2010).

A gestão do uso da água em edificações deve, dessa forma, estar baseada em ações previamente planejadas e em estudos de viabilidade técnica (VELAZQUEZ; MUNGUIA; OJEDA, 2013). Em função da tipologia da edificação, verifica-se uma predominância de determinadas ações voltadas ao uso racional da água. Na tipologia escolar, seja para o ensino infantil, fundamental, médio ou superior, a ênfase tem sido na sensibilização dos usuários, em conjunto com o emprego de tecnologias economizadoras (PEDROSO, 2008). Velazquez, Munguia e Ojeda (2013) e Marinho, Gonçalves e Kiperstok (2014) também reportam a utilização de equipamentos economizadores de água como estratégia de gestão visando à economia de água em *campi* universitários.

Por vezes, no entanto, o custo desses equipamentos pode levar à escolha dos convencionais (VELAZQUEZ; MUNGUIA; OJEDA, 2013; KALBUSCH & GHISI, 2016). Por essa razão, é fundamental avaliar e quantificar o impacto da substituição, em edifícios já existentes, de equipamentos hidrossanitários convencionais por equipamentos economizadores de água.

Diversos estudos têm sido realizados acerca da racionalização do uso da água a partir do uso de equipamentos economizadores, cada qual com suas especificidades e seus métodos (PEDROSO, 2008; ILHA *et al.*, 2010; LOMBARDI, 2012; BARBERÁN *et al.*, 2013; SILVA-AFONSO & PIMENTEL-RODRIGUES, 2014). No estudo desenvolvido por Ilha *et al.* (2010), foram realizadas medições em um conjunto de banheiros do Aeroporto Internacional de São Paulo. A partir de medidas descritivas e gráficas, os resultados mostraram que simples ajustes nos equipamentos sanitários já propiciam uma grande economia no consumo de água (ILHA *et al.*, 2010).

Lombardi (2012) analisou, com o auxílio de modelos de regressão linear múltipla, a viabilidade técnico-econômica da instalação de dispositivos economizadores de água em um setor de uma universidade. Após finalizado, o estudo mostrou que o investimento é viável, sinalizando uma redução do consumo em torno de 40% e estimando um tempo de retorno do capital aplicado de até 11 anos.

Barberán *et al.* (2013) analisaram o consumo de água em um hotel na Espanha antes e após a substituição dos equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água. Foi feita a troca das torneiras nos quartos e nas áreas comuns, além da instalação de elementos reguladores em chuveiros. Na cozinha, foram instalados equipamentos associados à lavagem de louças com limitadores de fluxo de água. O consumo de água quente, o consumo de água fria e o consumo total

foram avaliados por meio de análise de regressão dinâmica. O impacto das trocas revelou-se significativo para as três situações e a redução de consumo foi de 33, 17 e 22% para, respectivamente, água quente, água fria e consumo total do hotel. Houve redução significativa no consumo de água fria e quente nos quartos e nas áreas comuns. Na cozinha, o maior impacto foi verificado no consumo de água fria.

A regressão múltipla também foi aplicada para identificar as variáveis determinantes no consumo de água em escolas municipais de Campinas, São Paulo. No estudo de Pedroso (2008), a temperatura, a presença de válvulas de descargas (em vez de caixas de descarga) e o número de salas de aula apresentam-se como variáveis significativas.

Willis *et al.* (2011; 2013) apresentaram considerações acerca de medidas como a instalação de equipamentos economizadores; segundo esses autores, de modo geral, tais instrumentos possuem custos elevados e sua efetividade pode estar relacionada a fatores sociodemográficos. Por outro lado, com relação à viabilidade econômica, na pesquisa desenvolvida por Silva-Afonso *et al.* (2015), a instalação de equipamentos economizadores de água mostrou-se viável, com período de retorno do investimento de até 6,9 anos.

Nesse contexto, a proposta deste trabalho foi quantificar o impacto da substituição de equipamentos hidrossanitários convencionais por equipamentos hidrossanitários economizadores de água no consumo de água de uma instituição de ensino superior. Além disso, outros fatores que podem influenciar no consumo total diário de água na instituição, como o clima e o número de usuários, também foram investigados. Procurou-se, assim, um modelo causal que permitisse mais de uma variável explicativa ou regressora, incluindo também como variáveis a regulação de vazão dos bebedouros e a influência da temperatura e da quantidade de alunos no consumo de água.

## METODOLOGIA

### Procedimentos metodológicos

A metodologia para medição do consumo de água no edifício em análise consiste na instalação de hidrômetros posicionados no sistema predial de água fria do edifício, de modo a determinar o volume de água consumido em todos os equipamentos hidrossanitários existentes. Após o período inicial de coleta de dados, as torneiras de lavatório com acionamento mecânico devem ser substituídas por torneiras de acionamento hidromecânico. Os acabamentos de todas as válvulas de descarga da edificação, que inicialmente permitem a passagem do volume aproximado de 6 L de água, também devem ser substituídos por acabamentos com duplo acionamento (3 ou 6 L). Com relação à vazão de operação dos bebedouros existentes, após o período de medição inicial (com todos os bebedouros operando com a vazão preexistente), deve haver regulação para realização de novas medições.

Dessa forma, as medições são previstas para ocorrerem em todos os pontos de consumo de água do edifício em etapas distintas:

- situação preexistente, com torneiras convencionais nos lavatórios, acabamentos convencionais para válvulas de descarga e sem regulação de vazão dos bebedouros;
- com torneiras de acionamento hidromecânico instaladas nos lavatórios, acabamentos de duplo acionamento para válvulas de descarga e após a regulação de vazão dos bebedouros.

Os volumes obtidos com as leituras diárias dos hidrômetros instalados na edificação devem, então, ser utilizados para cálculo dos indicadores de consumo (IC) para cada tipo de equipamento hidrossanitário, conforme Equação 1.

$$IC = V/u \quad (1)$$

Em que:

IC é o indicador de consumo (L/usuário/dia);

V é o volume consumido diariamente (L/dia); e

u é o número de usuários (ou agentes consumidores de água) da edificação.

Segundo Oliveira & Gonçalves (1999), o número de agentes consumidores é calculado com base na variável mais representativa do consumo de água na edificação. Os autores ainda citam a unidade usual do indicador de consumo de água em escolas como L/aluno/dia.

Para a análise estatística, foi aplicada a regressão linear múltipla. De acordo com Montgomery & Runger (2003), a técnica de regressão linear múltipla é aplicada para situações que abrangem mais de uma variável regressora; o modelo ajustado ficará como apresentado na Equação 2.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon \quad (2)$$

Em que:

Y representa a variável dependente;

$x_1, x_2, \dots, x_n$  correspondem às variáveis independentes; e

$\varepsilon$  é o termo do erro aleatório.

O termo linear é utilizado porque a equação é uma função linear dos parâmetros desconhecidos  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ . O coeficiente  $\beta_0$  é o intercepto do plano, e os demais são os coeficientes parciais de regressão (MONTGOMERY & RUNGER, 2003).

A variável dependente (ou resposta) é o consumo de água. As variáveis independentes correspondem à temperatura média diária, ao número de alunos, à troca das torneiras, à troca dos acabamentos das válvulas de descarga e ao ajuste de vazão dos bebedouros. Essas variáveis foram escolhidas em razão das características da pesquisa. Além da troca dos equipamentos na seleção, levou-se em consideração a possibilidade de relação entre o consumo de água e as variáveis temperatura média diária e número de alunos. Os alunos representam a principal ocupação da edificação (OLIVEIRA & GONÇALVES, 1999), e a temperatura é um fator climático citado por Chang, Praskievicz e Parandvash (2014) como significativo para o consumo *per capita* de água.

Para a troca de equipamento, foi criada uma variável *dummy*, considerando como zero (0) o equipamento convencional e como um (1) o equipamento economizador. Variáveis *dummy* geralmente indicam a presença ou a ausência de uma característica. O intuito é “quantificar” tais características, construindo variáveis “artificiais” que assumam valores 1 (um) ou 0 (zero), em que um (1) indica a presença de tal característica – nesse caso a troca do equipamento – e zero (0) indica a ausência dessa troca (MISSIO & JACOBI, 2007).

Foram realizados ajustes de regressão linear múltipla para os seguintes tipos de consumo: total de água, em bacias sanitárias, em torneiras e em bebedouros. A análise da regressão auxilia a determinar se o consumo pode ser explicado pelas variáveis independentes consideradas. Assim, é possível verificar se alguma variável é significativa para consumo de água, seja redução ou aumento. Após o ajuste, testa-se a hipótese nula de que o coeficiente de cada termo é igual a zero, ou seja, que aquela variável não produz efeito. Para tal fim, é analisada a probabilidade de significância (valor p).

O valor p é o menor nível de significância que leva à rejeição da hipótese nula com os dados fornecidos (MONTGOMERY & RUNGER, 2003). De forma generalizada, ao se rejeitar a hipótese nula, pode-se dizer que o resultado é “estatisticamente significativo”, e que o valor p é a “probabilidade mínima de erro ao concluir que existe significância estatística” (PAES, 1998).

Desse modo, uma variável regressora com um valor p pequeno, inferior a 0,05, é significativa para o modelo, pois as mudanças nessa variável estão associadas com as alterações na variável resposta. Por outro lado, um valor p maior implica que as alterações na variável regressora não estão relacionadas com as alterações na variável resposta. No procedimento de testar uma hipótese pode-se aplicar a escala de evidências sugerida por Fisher (1954). O Quadro 1 ilustra a escala de Fisher contra a hipótese nula. Assim, um valor p de 0,01 (0,1%) indica uma evidência forte contra a validade da hipótese nula.

**Quadro 1** – Escala de significância de Fisher.

Valor p	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001
Natureza da evidência	Marginal	Moderada	Substancial	Forte	Muito forte	Fortíssima

Fonte: adaptado de Bussab & Morettin (2010).

Foi também verificada a adequação dos modelos ajustados a partir da análise de resíduos. Os resíduos de um modelo de regressão linear múltipla devem ser independentes e normalmente distribuídos, além de contar com uma análise gráfica que compare as médias do indicador de consumo para os períodos anterior e posterior aos ajustes.

O tratamento estatístico dos dados foi feito com o auxílio do programa R (R CORE TEAM, 2013), versão 3.0.1, com a interface Rcmdr (FOX, 2005) e o pacote lmtest (ZEILES & HOTHORN, 2002).

## Aplicação da metodologia em um estudo de caso

O estudo foi realizado na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), no Centro de Ciências Tecnológicas (CCT), localizado na cidade de Joinville, Santa Catarina. A instituição é abastecida pela Águas de Joinville, Companhia de Saneamento Básico, e apresenta como usos finais da água: a manutenção de laboratórios, a limpeza dos edifícios e a disponibilidade para consumo humano (cozinhas, banheiros e bebedouros). Velazquez, Munguia e Ojeda (2013) comentam que *campi* universitários podem ser considerados como pequenas cidades, dependendo de seu tamanho, sua população e suas atividades diárias, que geram inúmeros impactos ambientais. No caso do *campus* em estudo, há 9 cursos de graduação, 6 de mestrado e 2 de doutorado, sendo que a instituição recebe, por dia, em média, 3.000 estudantes, além de 261 professores e 102 técnicos administrativos.

A maior parte dos alunos está matriculada em período integral (matutino e vespertino). Porém, muitos habitam os arredores do *campus* e não necessariamente ficam na universidade ininterruptamente nos dois períodos, o que impacta no consumo de água para higiene e para preparo de alimentos.

No total, são 196 torneiras, 150 bacias sanitárias, 44 mictórios, 16 bebedouros e 38 chuveiros instalados em ambientes sanitários, laboratórios e cozinhas. Entre esses, foram estudados 14 torneiras, 16 válvulas de descargas e 4 bebedouros instalados em 4 banheiros de um bloco de salas de aula.

O estudo foi realizado em diferentes etapas e, para que fosse possível a realização do comparativo entre os aparelhos hidrossanitários, foram instalados 15 hidrômetros no total. Foram realizadas medições em uma primeira etapa com as 14 torneiras convencionais de fechamento mecânico existentes na edificação; elas foram, então, substituídas por outras 14 torneiras de acionamento hidromecânico e novas medições foram realizadas. A instalação das torneiras de acionamento hidromecânico (com ciclo de fechamento automático) foi realizada para verificar a hipótese de economia de água. Tal hipótese foi levantada principalmente em função das observações de mau uso no período em que a torneira convencional estava instalada na edificação. Quanto às torneiras com fechamento mecânico, foi observado que, em algumas ocasiões, permaneciam abertas após o uso.

Embora alguns estudos indiquem que há economia de água com a adoção de torneiras com fechamento automático (HARMON, 2016; KALBUSCH & GHISI, 2016), em um estudo realizado em um edifício de escritórios, Gauley & Koeller (2010) chegaram à conclusão de que as

torneiras com fechamento automático (com sensor de presença) resultaram em consumo maior diário quando comparadas às torneiras convencionais preexistentes no edifício. Para a economia de água quando da adoção de torneiras com fechamento automático, Harmon (2016) cita como fatores preponderantes o comportamento dos usuários e a presença de arejadores com limitador de vazão. Ilha *et al.* (2010) reforçam a importância da manutenção periódica e de ajustes no volume, na vazão de operação e no tempo de fechamento em torneiras com fechamento automático para promoção da economia de água.

Assim, é importante ressaltar que a vazão das torneiras pode influenciar o consumo de água nesses equipamentos. No caso do presente estudo, as vazões foram medidas apenas para as torneiras de acionamento hidromecânico com ciclo de fechamento automático, em que a vazão não depende do usuário. A média das vazões das 14 torneiras com acionamento hidromecânico e ciclo de fechamento automático instaladas no edifício foi de 0,09 L/s. No caso das torneiras com acionamento (e fechamento) mecânico, a vazão depende do usuário e de quanto a válvula foi aberta. Os hidrômetros instalados não permitiram a coleta de dados de vazão em cada uso (apenas o volume diário), o que configurou uma limitação do presente estudo.

Para as bacias sanitárias, foram utilizadas, no total, 16 válvulas de descarga com acabamento convencional de aproximadamente 6 L por acionamento e, como no caso das torneiras, os acabamentos foram substituídos, após um período de tempo, por acabamentos de válvula de descarga de duplo acionamento (3 e 6 L). A válvula de descarga não precisou ser substituída porque o controle do volume aproximado de descarga é realizado no sistema de acabamento (convencional ou duplo acionamento).

A instalação dos hidrômetros foi realizada de modo a permitir mensurar o consumo isolado de cada equipamento hidrossanitário de um dos blocos de salas de aula da instituição. Dessa forma, coletaram-se os dados de cada hidrômetro diariamente, sempre com intervalo de 24 h entre cada medição, com exceção dos domingos, pois não foi necessário realizar medição, uma vez que não há acesso ao *campus* e, consequentemente, não há consumo de água. Procedeu-se da mesma forma para todas as etapas do estudo. Os valores foram anotados *in loco* e posteriormente lançados em planilha eletrônica.

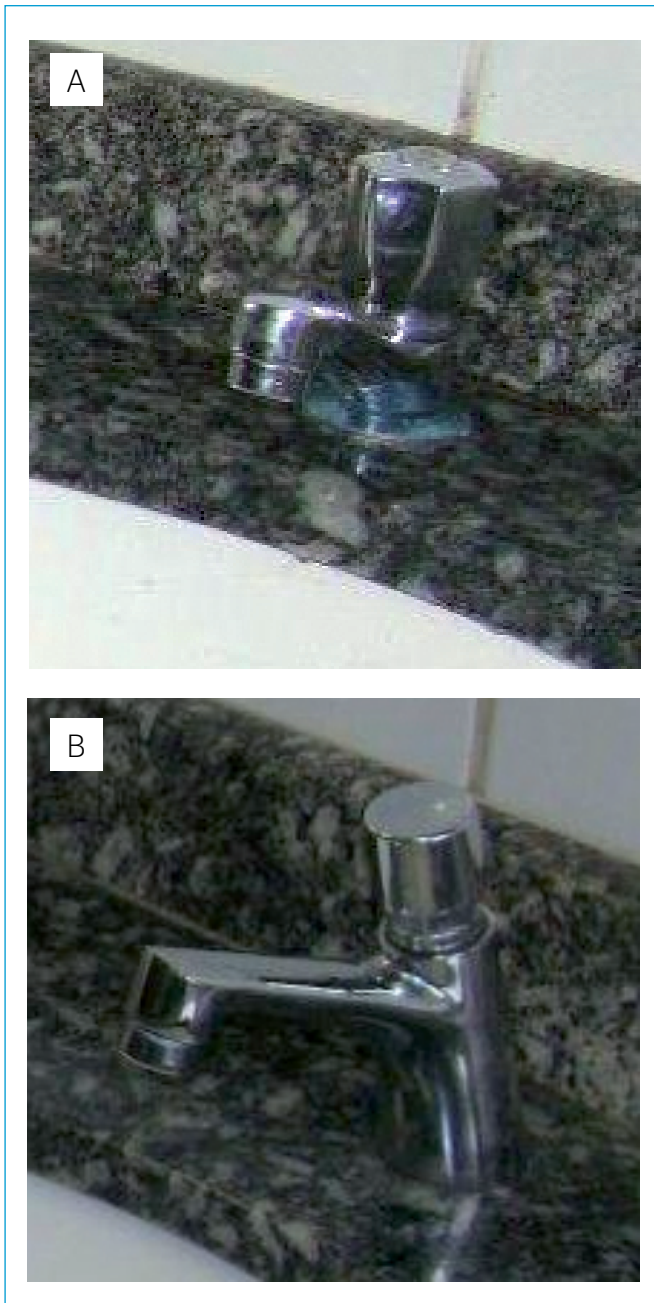
O número de usuários do bloco de salas de aula foi obtido diariamente junto ao setor de registro acadêmico do *campus*. Esse número apresenta variação entre os dias da semana e os eventos especiais. Essa variação foi considerada, porém não foi possível determinar, entre os alunos, os que efetivamente utilizaram os banheiros e os equipamentos hidrossanitários existentes. Neste estudo, a quantificação de consumo *per capita* considerou o número de alunos que utilizam o bloco de salas de aula, usualmente utilizado para cálculo do indicador de consumo de instituições de ensino (OLIVEIRA & GONÇALVES, 1999).

O primeiro período de coleta dos dados ocorreu nos meses de abril e maio de 2011, momento em que se mantiveram os equipamentos



antigos e usuais, ou seja, não ocorreu nenhuma troca ou ajuste. Para a segunda etapa de coleta de dados, entre os meses de maio e julho do mesmo ano, as torneiras convencionais de acionamento mecânico foram substituídas por torneiras economizadoras de acionamento hidromecânico (Figura 1). As válvulas de descarga originais permaneceram.

Para o terceiro período, os acabamentos convencionais das válvulas de descarga também foram substituídos por acabamentos de válvulas de descarga com duplo acionamento (Figura 2). As medições após a substituição dos acabamentos das válvulas de descarga ocorreram no mês de agosto de 2011.



**Figura 1** - Torneira de acionamento manual (A) e torneira de acionamento hidromecânico (B) utilizadas para o primeiro período de coleta de dados.



**Figura 2** - Válvula de descarga de duplo acionamento instalada para o terceiro período de coleta de dados.



**Figura 3** - Jato de água irregular de um dos bebedouros antes do ajuste da vazão.

Na sequência, ajustou-se também a vazão dos bebedouros. A manutenção periódica e, conseqüentemente, a verificação das condições de operação dos equipamentos hidrossanitários deveria ser prática recorrente, mas não é realidade em grande parte das universidades públicas no país, como afirmam Marinho, Gonçalves e Kiperstok (2014). Pela Figura 3 é possível verificar que a vazão era bastante elevada, ocasionando desconforto aos usuários. Alguns usuários relataram, quando das medições, a impossibilidade de utilização dos bebedouros sem o auxílio de copos ou outros recipientes para armazenamento de água.

As temperaturas médias diárias foram fornecidas pela estação meteorológica da Universidade da Região de Joinville (Univille), localizada em terreno vizinho ao da UDESC, onde foi realizado o estudo (SANTOS, 2013). As temperaturas diárias utilizadas no estudo são as médias dos 3 horários de aferição da estação — 9h, 15h e 21h.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total, foram 130 dias de observações. No entanto, valores correspondentes a períodos em que houve detecção de vazamentos ou problemas na motobomba foram considerados como dados discrepantes (*outliers*) e, portanto, retirados do conjunto de dados. Por fim, restaram 91 dias de dados válidos, sendo 35 dias para o primeiro período, 32 para o segundo e 24 para o terceiro.

### Consumo de água total

Na Tabela 1 podem ser observados os resultados obtidos ao aplicar o método de regressão linear múltipla para o consumo total em função das variáveis regressoras temperatura e número de alunos, além das variáveis *dummy* referentes à troca das torneiras, à troca dos acabamentos das válvulas de descarga e à regulagem dos bebedouros. Com a retirada dos dados discrepantes (*outliers*), o período com as válvulas de duplo acionamento e após a regulagem dos bebedouros passou a ser o mesmo. Agruparam-se, portanto, as variáveis *dummy* referentes

à troca das válvulas de descarga e ao ajuste de vazão dos bebedouros em apenas uma variável.

Para esse modelo, as variáveis temperatura e número de alunos têm valor significativo de 0,1% ( $p \leq 0,001$ ), enquanto a troca das torneiras possui significância de 5% ( $p \leq 0,05$ ). Isso significa que a troca das torneiras, assim como o número de alunos e a temperatura média, teve impacto significativo no consumo de água.

O coeficiente de determinação  $R^2$  atingiu valor de 0,9664, mostrando que o modelo explica 96,64% do consumo. Esse modelo identifica que a temperatura, o número de alunos e a troca das torneiras são significativos para explicar o consumo total (Tabela 1).

Na determinação do consumo total, a troca dos acabamentos das válvulas de descarga (variável igual a um) e a regulagem dos bebedouros (variável igual a um) não foram significativas, considerando-se em conjunto com as demais variáveis (temperatura, número de alunos e troca das torneiras). Isso significa que, para o consumo total, as demais variáveis têm efeito maior. O sinal negativo do coeficiente implica que a troca das torneiras e a troca das válvulas de descarga e regulagem dos bebedouros resultaram na redução do consumo. Por sua vez, o sinal positivo do coeficiente implica que mais alunos e maior temperatura resultam no aumento do consumo.

A relação do consumo total diário de água com as variáveis definidas com o modelo de regressão múltipla linear é representada pela Equação 3.

$$C_{\text{total}} = 0,0282X_{\text{temp}} + 0,00207X_{\text{alunos}} - 0,224X_{\text{dummy torn}} - 0,0429X_{\text{dummy val+beb}} + \epsilon \quad (3)$$

Em que:

$C_{\text{total}}$  é o consumo diário total de água ( $m^3$ );

$X_{\text{temp}}$  é a temperatura ( $^{\circ}C$ );

$X_{\text{alunos}}$  é o número de alunos; e

$X_{\text{dummy torn}}$  é a variável *dummy* referente à troca das torneiras — variável igual a um no caso de equipamento economizador e variável igual a zero no caso de equipamento convencional;

**Tabela 1** – Valores referentes ao ajuste de regressão linear múltipla para o consumo total.

Variáveis independentes	Variáveis dependentes		
	Consumo total		
	Coefficiente	Erro padrão	Valor p
Temperatura	0,028171	0,007369	0,000247**
Número de alunos	0,002072	0,000187	<2e-16***
Troca das torneiras	-0,224080	0,103909	0,033802*
Troca das válvulas de descarga e regulagem dos bebedouros	-0,042948	0,119295	0,719709
	Mínimo	Médio	Máximo
Resíduos	-1,410150	-0,00888	0,99335
$R^2$	0,966400		
Valor p	<2,2e-16		

significância de 10%; \*significância de 5%; \*\*significância de 1%; \*\*\*significância de 0,1%.

$X_{dummy\ val+beb}$  é a variável *dummy* referente à troca do acabamento das válvulas de descarga e à regulagem dos bebedouros — variável igual a um no caso de equipamento economizador e regulagem de vazão dos bebedouros e variável igual a zero no caso de equipamento convencional e bebedouro sem regulagem de vazão; e  $\epsilon$  é o erro aleatório.

Em um modelo preliminar, o intercepto mostrou-se não significativo, ou seja, seu valor não é diferente de zero. Embora a teoria recomende a inclusão de uma constante, há situações em que sua exclusão é adequada ou até mesmo necessária (EISENHAUER, 2003). No contexto do problema estudado, não se espera que haja consumo se as variáveis explicativas forem todas iguais a zero. Um valor positivo para o intercepto poderia indicar vazamento, que, embora seja importante, não é foco da análise realizada e poderia alterar os resultados. Assim, optou-se pelo ajuste sem intercepto, uma vez que os vazamentos foram excluídos da análise e não há consumo com as demais variáveis (número de alunos, temperatura e troca de equipamentos) igualadas a zero. Essa situação se repetiu para os demais modelos.

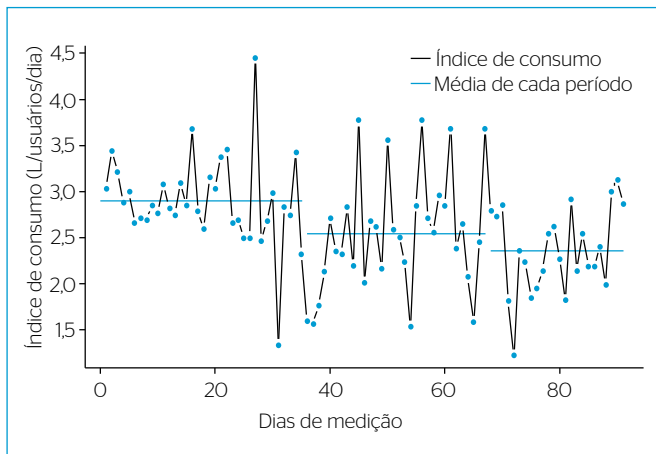


Gráfico 1 – Indicador de consumo total e média para cada período de análise.

O Gráfico 1 mostra o consumo diário total de água em função do tempo e a média de consumo para cada período de análise. A primeira fase envolveu 35 dias de coleta de dados e apresentou média do indicador de consumo de 2,901 L/aluno/dia. O indicador de consumo de água foi calculado, conforme apresenta a metodologia, considerando o número total de alunos do bloco de salas de aula. É importante salientar que esse indicador de consumo foi calculado para os banheiros de um bloco de salas de aula e que não inclui outros usos inerentes ao ambiente universitário, como laboratórios ou água para preparo de alimentos. O valor calculado é compatível com os valores de indicador de consumo calculados por Menegassi (2012) para o Centro Socioeconômico e o Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os indicadores de consumo apresentados foram, respectivamente, de 3,45 e 3,92 L/aluno/dia para o Centro Socioeconômico e o Centro Tecnológico (MENEGASSI, 2012).

Após a troca das torneiras, a média do indicador de consumo caiu para 2,543 L/aluno/dia, com período de análise de 31 dias. Já para o terceiro período, a média do indicador de consumo foi de 2,356 L/aluno/dia e envolveu 23 dias de coleta de dados. A queda de consumo entre o primeiro e o segundo período foi de 12,34%, enquanto a redução do consumo entre o primeiro e o terceiro período foi de 18,79%.

### Consumo de água em bacias sanitárias

O modelo de regressão múltipla linear para o consumo das bacias sanitárias mostrou significância de 0,1% ( $p \leq 0,001$ ) para o número de alunos, a temperatura e a variável *dummy* referente à troca dos acabamentos das válvulas de descarga, ou seja, a troca do acabamento das válvulas de descarga foi significativa no consumo das bacias sanitárias. Os resíduos apresentam variância constante e são normalmente distribuídos. O valor do coeficiente de determinação foi de 0,9436, demonstrando que esse modelo explica 94,36% do consumo das bacias sanitárias. O sinal negativo no coeficiente implica que a troca das válvulas de descarga resultou na redução do consumo, enquanto o sinal positivo no coeficiente mostra

Tabela 2 – Dados referentes à regressão linear múltipla para o consumo das bacias sanitárias.

Variáveis independentes	Variáveis dependentes		
	Consumo das bacias sanitárias		
	Coefficiente	Erro padrão	Valor p
Temperatura	0,025045	0,006695	0,000326***
Número de alunos	0,001311	0,000158	1,15e-12***
Troca das válvulas de descarga	-0,445896	0,100513	2,64e-05***
	Mínimo	Médio	Máximo
Resíduos	-1,004600	0,0467	1,044000
R <sup>2</sup>	0,9436		
Valor p	<2,2e-16		

significância ao nível de 10%; \*significância ao nível de 5%; \*\*significância ao nível de 1%; \*\*\*significância ao nível de 0,1%.

que quanto maiores o número de alunos e a temperatura, maior será o consumo (Tabela 2). O aumento no consumo de água em bacias sanitárias decorrente da elevação da temperatura pode estar relacionado ao aumento do consumo de água nas torneiras e nos bebedouros nos períodos mais quentes, quando pode haver maior necessidade de ingestão de líquidos por parte dos usuários da edificação.

O consumo das bacias sanitárias, pelo método da regressão múltipla linear, pode ser dado pela Equação 4.

$$C_{\text{bacias\_sanitarias}} = 0,0250X_{\text{temp}} + 0,00131X_{\text{alunos}} - 0,446X_{\text{dummy val}} + \epsilon \quad (4)$$

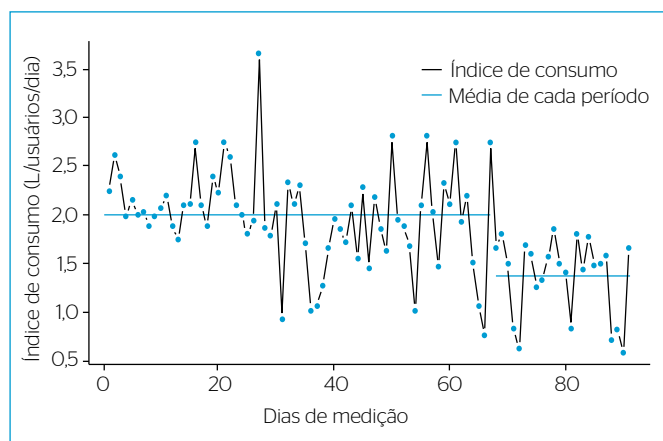
Em que:

$C_{\text{bacias\_sanitarias}}$  é o consumo diário total de água nas bacias sanitárias ( $m^3$ );

$X_{\text{temp}}$  é a temperatura ( $^{\circ}C$ );

$X_{\text{alunos}}$  é o número de alunos; e

$X_{\text{dummy val}}$  é a variável *dummy* referente à troca do acabamento das válvulas de descarga — variável igual a (um no caso de equipamento economizador e variável igual a zero no caso de equipamento convencional; e  $\epsilon$  é o erro aleatório.



**Gráfico 2** - Indicador de consumo de água nas bacias sanitárias no período de análise e média do indicador de consumo para cada etapa do estudo.

A média do indicador de consumo de água em bacias sanitárias no período anterior ao ajuste era de 1,991 L/aluno/dia. Após a troca dos acabamentos das válvulas de descarga, a média do indicador de consumo caiu para 1,374 L/aluno/dia (Gráfico 2), o que representa uma economia de cerca de 31% no consumo de água. Foram analisados 67 dias de coleta de dados com as válvulas de descarga com acabamento convencional e outros 24 dias com as válvulas de descarga com acabamento de duplo acionamento. É importante salientar que o indicador de consumo de água foi calculado considerando o número total de alunos do bloco de salas de aula diariamente.

### Consumo de água em torneiras

Os dados obtidos na regressão linear múltipla para o consumo das torneiras mostrou significância de 0,1% ( $p \leq 0,001$ ) para a temperatura e o número de alunos, e significância de 1% ( $p \leq 0,01$ ) para a troca das torneiras, o que mostra que a troca das torneiras (variável igual a 1) foi significativa para o consumo de água. Os resíduos apresentam variância constante e são normalmente distribuídos. O valor do coeficiente de determinação  $R^2$  foi de 0,9512 (isso significa que esse modelo conseguiu explicar 95,12% do consumo das torneiras). O sinal negativo no coeficiente implica que a troca das torneiras resultou na redução do consumo, enquanto o sinal positivo no coeficiente mostra que quanto maiores o número de alunos e a temperatura, maior será o consumo. O valor p para esse modelo foi menor que  $2,20 \times 10^{-16}$ , o que indica que o modelo é significativo, ou seja, a temperatura, o número de alunos e a troca das válvulas são significativos para explicar o consumo (Tabela 3).

A relação do consumo das torneiras com a temperatura, o número de alunos e a variável *dummy* troca das torneiras é apresentada na Equação 5.

$$C_{\text{torneiras}} = 0,00658X_{\text{temp}} + 0,000363X_{\text{alunos}} - 0,0626X_{\text{dummy torn}} + \epsilon \quad (5)$$

Em que:

**Tabela 3** - Valores referentes ao modelo de regressão linear múltipla no consumo das torneiras.

Variáveis independentes	Variáveis dependentes		
	Consumo das torneiras		
	Coefficiente	Erro padrão	Valor p
Temperatura	0,006575	0,001665	0,000158***
Número de alunos	0,000363	0,000042	2,42e-13***
Troca das torneiras	-0,062570	0,021830	0,005194**
	Mínimo	Médio	Máximo
Resíduos	-0,285300	-0,001937	0,219599
$R^2$	0,951200		
Valor p	< 2,2e-16		

significância ao nível de 10%; \*significância ao nível de 5%; \*\*significância ao nível de 1%; \*\*\*significância ao nível de 0,1%.



$C_{\text{torneiras}}$  é o consumo diário total de água nas torneiras ( $\text{m}^3$ );

$X_{\text{temp}}$  é a temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ );

$X_{\text{nalunos}}$  é o número de alunos;

$X_{\text{dummy torn}}$  é a variável *dummy* referente à troca das torneiras — variável igual a um no caso de equipamento economizador e variável igual a zero no caso de equipamento convencional; e

$\varepsilon$  é o erro aleatório.

A média do indicador de consumo das torneiras antes dos ajustes foi calculada como 0,553 L/aluno/dia. Após os ajustes, a média do indicador de consumo foi reduzida para 0,440 L/aluno/dia. No total, foram 35 dias de coleta de dados para o primeiro período e 57 dias para o segundo período (Gráfico 3). A redução do indicador de consumo referente à troca de torneiras foi de 20,43%.

### Consumo de água nos bebedouros

O estudo de regressão linear múltipla para o consumo dos bebedouros mostrou que as variáveis temperatura e número de alunos tiveram significância de 0,1% ( $p \leq 0,001$ ). Considerando a temperatura, o número de alunos e a regulagem dos bebedouros para o consumo de água nos bebedouros, a regulagem de vazão não pode ser considerada significativa (Tabela 4). Isso pode ser explicado pelo desconforto na utilização gerado pela alta vazão no primeiro período de medições. Dessa forma, apesar de a vazão ter diminuído com o ajuste, a frequência de uso pode ter aumentado, não acarretando grande variação do consumo.

O valor do coeficiente de determinação  $R^2$  foi de 0,8860 (isso mostra que esse modelo conseguiu explicar 88,60% do consumo dos bebedouros) e o valor  $p$  para esse modelo  $2,20 \times 10^{-16}$ . Esse valor indica que o modelo é significativo, ou seja, a temperatura, o número de alunos e a regulagem de vazão são significativos para explicar o consumo.

A relação do consumo de água nos bebedouros com as variáveis geradas com o modelo de regressão múltipla linear é apresentada na Equação 6.

$$C_{\text{bebedouros}} = 0,00193X_{\text{temp}} + 0,0000396X_{\text{nalunos}} - 0,00837X_{\text{dummy beb}} + \varepsilon \quad (6)$$

Em que:

$C_{\text{bebedouros}}$  é o consumo diário total de água nos bebedouros ( $\text{m}^3$ );

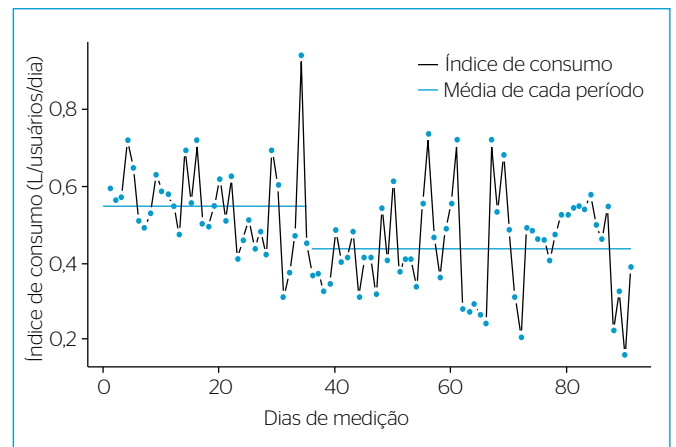
$X_{\text{temp}}$  é a temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ );

$X_{\text{nalunos}}$  é o número de alunos;

$X_{\text{dummy beb}}$  é a variável *dummy* referente à regulagem de vazão dos bebedouros — variável igual a um no caso de equipamento com vazão regulada e variável igual a zero no caso de equipamento com vazão elevada; e

$\varepsilon$  é o erro aleatório.

A média do indicador de consumo no período anterior à regulagem da vazão foi de 0,086 L/aluno/dia. Após o ajuste, o indicador de consumo caiu para 0,069 L/aluno/dia, o que representa uma economia de 19,77%. Foram analisados 67 dias antes do ajuste de vazão dos bebedouros e outros 24 dias após o ajuste (Gráfico 4). É necessário salientar que, apesar da diminuição no indicador de consumo de

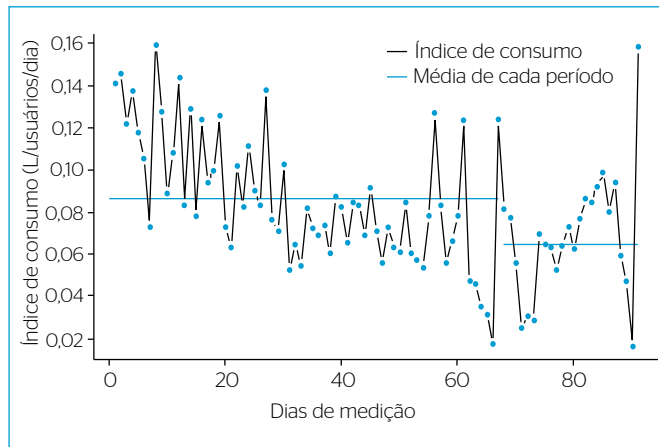


**Gráfico 3** - Indicador de consumo de água nas torneiras no período de análise e média do indicador de consumo na primeira e na segunda etapa da coleta de dados.

**Tabela 4** - Dados referentes à regressão linear múltipla dos bebedouros.

Variáveis independentes	Variáveis dependentes		
	Consumo dos bebedouros		
	Coefficiente	Erro padrão	Valor p
Temperatura	0,001930	0,000442	3,44e-05***
Número de alunos	0,0000396	0,000010	0,000275***
Regulagem dos bebedouros	-0,008368	0,006638	0,210748
	Mínimo	Médio	Máximo
Resíduos	-0,056655	-0,00741	0,084161
$R^2$	0,886000		
Valor p	<2,2e-16		

significância ao nível de 10%; \*significância ao nível de 5%; \*\*significância ao nível de 1%; \*\*\*significância ao nível de 0,1%.



**Gráfico 4** - Indicador de consumo de água nos bebedouros no período de análise e médias antes do ajuste de vazão e depois do ajuste de vazão.

água segundo o modelo de regressão gerado, não se pode afirmar que o motivo da redução do indicador de consumo tenha sido o ajuste de vazão. Outros fatores, como a temperatura, podem ter influenciado no consumo. Os resíduos desse modelo, no entanto, não se apresentam adequados, o que sugere a transformação de dados ou a necessidade de procurar outro modelo.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que a substituição de equipamentos hidrossanitários convencionais por economizadores apresentou bons resultados na redução do consumo de água em uma instituição de ensino superior. Além da substituição dos equipamentos, foi possível concluir que a temperatura e o número de alunos também são significativos na variação do consumo de água. A troca das torneiras mostrou ser significativa (significância de 5%) na redução do consumo

de água total do bloco de salas de aula, resultando em uma queda do indicador de consumo total de 12,34%. Já em análise individual, a troca de torneiras foi ainda mais significativa (significância de 1%), com uma redução de 20,43% do indicador de consumo das torneiras.

A troca do acabamento das válvulas das bacias sanitárias e a regulação de vazão dos bebedouros implicaram em redução de 18,79% do indicador de consumo total de água. Em análise individual, a troca do acabamento das válvulas de descarga mostrou ter influência considerável no consumo das bacias sanitárias (significância de 0,1%). A substituição do equipamento convencional pelo equipamento economizador implicou em 30,99% de economia no indicador de consumo diário em bacias sanitárias.

As variáveis mais influentes no consumo de água dos bebedouros foram a temperatura e o número de alunos. Após a regulação de vazão, o indicador de consumo de água nos bebedouros foi reduzido em 19,77%. Porém, como foi discutido, não se pode afirmar que o motivo da redução do indicador de consumo tenha sido o ajuste de vazão, uma vez que outras variáveis, como o número de alunos e a temperatura, podem ter ocasionado tal redução.

Este trabalho demonstra a importância da utilização de equipamentos economizadores ao quantificar o seu impacto no consumo de água, contribuindo, assim, para uma melhor gestão dos recursos hídricos em sistemas prediais. É fundamental que se preze pela economia de água, seja com a utilização de tecnologias voltadas a esse meio, seja pela conscientização dos usuários.

Os vazamentos foram considerados dados discrepantes (*outliers*) para o presente estudo, pois poderiam influenciar consideravelmente o consumo de água na edificação. Esta pesquisa é, portanto, uma sugestão para a continuidade dos estudos na área, com a realização de verificações acerca do impacto dos vazamentos no consumo de água.

## REFERÊNCIAS

- BARBERÁN, R.; EGEEA, P.; GRACIA-DE-RENTERÍA, P.; SALVADOR, M. (2013) Evaluation of water saving measures in hotels: a Spanish case study. *International Journal of Hospitality Management*, v. 34, n. 1, p. 181-191.
- BUSSAB, W.O. & MORETTIN, P.A. (2010) *Estatística básica*. 6. ed. São Paulo: Saraiva. 549p.
- CHANG, H.; PRASKIEVICZ, S.; PARANDVASH, H. (2014) Sensitivity of urban water consumption to weather and climate variability at multiple temporal scales: the case of Portland, Oregon. *International Journal of Geospatial and Environmental Research*, v. 1, n. 7, p. 1-19.
- EISENHAUER, J. G. (2003) Regression through the origin. *Teaching Statistics*, v. 25, n. 3, p. 76-80.
- FISHER, R.A. (1954) *Statistical methods for research workers*. 2. ed. New York: Hafner. 362p.
- FOX, J. (2005) The R commander: a basic-statistics graphical user interface to R. *Journal of Statistical Software*, v. 14, n. 9, p. 1-42.
- GAULEY, B. & KOELLER, J. (2010) Sensor-operated plumbing fixtures: do they save water? California Energy Commission DOCKETED 12-AAER-2C. Califórnia. Disponível em: <<http://docketpublic.energy.ca.gov/PublicDocuments/Migration-12-22-2015/Non-Regulatory/12-AAER-2C/2013/TN%2071101%2006-03-13%20Sensor-Operated%20Fixtures%20Final%20Report%20March%202010.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2016.

- HARMON, A. (2016) Do automatic water faucets actually save water? A comparative test of manual and automatic water faucets at California State University, Sacramento. Califórnia: Sustainability Department-Facilities Management Department.
- ILHA, M.S.O.; OLIVEIRA, L.H.; SOUSA JUNIOR, W.C.; GONÇALVES, O.M.; CAMPOS, M.A.S. (2010) Impact of installation of water saving technologies at the International Airport of São Paulo in Brazil. *In: CIB W062 International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings*, 36., 2010, Sydney. *Anais...* Sydney: Commission W062 Water Supply and Drainage for Buildings CIB W062. p. 449-458.
- KALBUSCH, A. & GHISI, E. (2016) Comparative life-cycle assessment of ordinary and water-saving taps. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, p. 4585-4593.
- LOMBARDI, L. R. (2012). *Dispositivos poupadores de água em um sistema predial: análise da viabilidade técnico-econômica de implementação no instituto de pesquisas hidráulicas*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- MARINHO, M.; GONÇALVES, M.S.; KIPERSTOK, A. (2014) Water conservation as a tool to support sustainable practices in a Brazilian public university. *Journal of Cleaner Production*, v. 62, p. 98-106.
- MENEGASSI, L.F. (2012) *Avaliação da aplicabilidade de indicadores de consumo como ferramentas de auxílio à racionalização do uso da água no campus universitário Trindade*. 108f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- MISSIO, F. & JACOBI, L.F. (2007) Variáveis dummy: especificações de modelos com parâmetros variáveis. *Ciência e Natura*, v. 29, n. 1, p. 111-135.
- MONTGOMERY, D.C. & RUNGER, G.C. (2003) *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC. 463p.
- OLIVEIRA, L. H. & GONÇALVES, O. M. (1999) Metodologia para a implantação de programa de uso racional da água em edifícios. *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP*.
- PAES, A.T. (1998) Itens essenciais em bioestatística. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 71, n. 4, p. 575-580.
- PEDROSO, L.P. (2008) *Estudo das variáveis determinantes no consumo de água em escolas: o caso das unidades municipais de Campinas, São Paulo*. 248f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- PROENÇA, L. & GHISI, E. (2010) Water end-uses in Brazilian office buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 54, n. 8, p. 489-500.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. (2013) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 25 jul. 2013.
- SANTOS, L.K. (2013) Dados – temperatura média em Joinville [mensagem pessoal]. Mensagem recebida em 27 jul. 2013.
- SILVA-AFONSO, A. & PIMENTEL-RODRIGUES, C. (2014) Effects of measures of water efficiency in buildings in the consumption diagrams. *In: Water Efficiency Conference. Anais...* p. 8-18. Reino Unido: Universidade de Brighton.
- SILVA-AFONSO, A.; PIMENTEL-RODRIGUES, C.; MEIRELES, I.; SOUSA, V. (2015) Feasibility study of water saving measures in university campuses buildings: a case study of the University of Aveiro. *In: Water Efficiency Conference. Anais...* p. 88-97.
- VELAZQUEZ, L.; MUNGUÍA, N.; OJEDA, M. (2013) Optimizing water use in the University of Sonora, Mexico. *Journal of Cleaner Production*, v. 46, p. 83-88.
- WILLIS, R.M.; STEWART, R.A.; PANUWATWANICH, K.; WILLIAMS, P.R.; HOLLINGSWORTH, A.L. (2011) Quantifying the influence of environmental and water conservation attitudes on household end use water consumption. *Journal of Environmental Management*, v. 92, p. 1996-2009.
- WILLIS, R.M.; STEWART, R.A.; GIURCO, D.P.; TALEBPOUR, M.R.; MOUSAVINEJAD, A. (2013) End use water consumption in households: impact of socio-demographic factors and efficient devices. *Journal of Cleaner Production*, v. 60, p. 107-115.
- ZEILES, A. & HOTHORN, T. (2002) Diagnostic checking in regression relationships. *R News*, v. 2, n. 3, p. 7-10.

DOI: 10.1590/S1413-41522017022000000050

## Errata

No artigo “Avaliação do impacto da substituição de equipamentos hidrossanitários convencionais por equipamentos economizadores no consumo de água”, com número de DOI: 10.1590/S1413-41522016130494, publicado no periódico Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016130494>>. Epub July 06, 2017.

Onde se lia:

Andreza Kalbuch<sup>2</sup>

Leia-se:

Andreza Kalbusch<sup>2</sup>