

Monitoramento remoto do consumo de água em agências bancárias utilizando gráficos de controle estatístico

Remote monitoring of water consumption in bank branches using statistical control charts

Monitoreo remoto del consumo de agua en sucursales bancarias utilizando gráficos de control estadístico

Lucas Lepinski Golin Freitas

Universidade do Estado de Santa Catarina; Centro de Ciências Tecnológicas; Departamento de Engenharia Civil.
Joinville (SC), Brasil.

Andreza Kalbusch

Universidade do Estado de Santa Catarina; Centro de Ciências Tecnológicas; Departamento de Engenharia Civil.
Joinville (SC), Brasil.

Elisa Henning

Universidade do Estado de Santa Catarina; Centro de Ciências Tecnológicas; Departamento de Matemática.
Joinville (SC), Brasil.

Marcio Ferreira de Lima*

Caixa Econômica Federal; Vice-presidência de Logística; Gerência Executiva de Engenharia e Arquitetura.
Curitiba (PR), Brasil.
marcio.f.lima@caixa.gov.br

* Autor correspondente.

CRedit

Contribuição de autoria: Concepção; Curadoria de dados; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Software; Visualização; Redação – rascunho original: FREITAS, L. L. G.; Concepção; Curadoria de dados; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Software; Supervisão; Validação; Visualização; Redação – rascunho original; Redação – revisão e edição: KALBUSCH, A.; HENNING, E; Concepção; Curadoria de dados; Coleta de dados; Supervisão; Validação; Redação – revisão e edição: LIMA, M. F.

Conflitos de interesse: Os autores certificam que não há conflito de interesse.

Financiamento: Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) – código [2023TR000334]; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – código [423090/2021-6]

Aprovação de ética: Os autores certificam que não houve necessidade de aprovação de Comitê de Ética.

Uso de I.A.: Os autores certificam que não houve uso de inteligência artificial na elaboração do trabalho

Editores responsáveis: Daniel Sant'Ana (Editor-Chefe); Heber M. de Paula (Editor Convidado); Ricardo P. A. Reis (Editor Convidado); Pedro Arthur R. de Medeiros (Assistente editorial).

Resumo

O objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho de dois tipos de gráficos de controle estatístico de processos, Shewhart e EWMA, para o monitoramento de consumo de água em agências bancárias localizadas na região Sul do Brasil. Os gráficos de controle foram utilizados para identificar eventos atípicos que ocorreram durante o período de análise, de 31/10/2018 até 03/11/2019. Três agências bancárias, localizadas nos municípios de Joinville, Criciúma e Curitiba foram selecionadas para análise. As médias diárias de consumo de água encontradas para a agência de Joinville foram de 4,51 m³/dia, 81,82 L/funcionário/dia, 11,14 L/atendimento/dia e 1,47 L/m²/dia. Na agência de Criciúma os indicadores foram de 4,18 m³/dia, 34,73 L/funcionário/dia, 21,02 L/atendimento/dia e 1,27 L/m²/dia. Após a substituição de todos os mecanismos de acionamento das válvulas de descarga ocorreu a redução do consumo para 2,48 m³/dia, totalizando a economia de 298,69 m³. Os indicadores para a agência de Curitiba foram de 0,61 m³/dia, 34,69 L/funcionário/dia, 1,98 L/atendimento/dia e 0,29 L/m²/dia. Ambos os gráficos analisados apresentaram resultados satisfatórios quanto à detecção de vazamentos, consumos excessivos de água e outros eventos atípicos. O gráfico EWMA apresentou um melhor desempenho para a detecção de pequenas variações no consumo.

Palavras-Chave: Gráficos de controle; Consumo de água; Monitoramento remoto; Sustentabilidade; Edificações públicas; Monitoramento estatístico.

Abstract

The aim of this work was to assess the performance of two distinct types of statistical control charts, Shewhart and EWMA, when used to monitor water consumption in bank branches located in southern Brazil. The control charts were used in an attempt to detect unusual events that happened during the data collection period, ranging from 10/31/2018 to 11/03/2019. Three bank branches, located in the municipalities of Joinville, Criciúma and Curitiba, were selected for this analysis. The water consumption averages found for the Joinville's branch were 4.51 m³/day, 81.82 L/employee/day, 11.14 L/service/day and 1.47 L/m²/day. For the Criciúma's branch, the averages were 4.18 m³/day, 34.73 L/employee/day, 21.02 L/service/day and 1.27 L/m²/day. After the replacement of all toilet flushing systems, the consumption was reduced to 2.48 m³/day, saving a total of 298.69 m³ of water. Finally, for the Curitiba's branch, the averages were 0.61 m³/day, 34.69 L/employee/day, 1.98 L/service/day and 0.29 L/m²/day. Both charts displayed an acceptable performance for detecting leakages, excessive water consumption and other unusual events. The EWMA chart exhibited a better performance for detecting small variations.

Keywords: Statistical control charts, Water consumption, Remote monitoring, Sustainability, Public buildings, Statistical monitoring.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue analizar el desempeño de dos tipos de gráficos de control estadístico de procesos, Shewhart y EWMA, para el monitoreo del consumo de agua en sucursales bancarias ubicadas en la región sur de Brasil. Los gráficos de control se utilizaron para identificar eventos atípicos que ocurrieron durante el período de análisis, desde el 31/10/2018 hasta el 03/11/2019. Se seleccionaron tres sucursales bancarias, ubicadas en los municipios de Joinville, Criciúma y Curitiba, para el análisis. Los promedios diarios de consumo de agua encontrados para la agencia de Joinville fueron de 4,51 m³/día, 81,82 L/empleados/día, 11,14 L/servicio/día y 1,47 L/m²/día. En la agencia de Criciúma, los indicadores fueron de 4,18 m³/día, 34,73 L/empleados/día, 21,02 L/servicio/día y 1,27 L/m²/día. Después de la sustitución de todos los mecanismos de accionamiento de las válvulas de descarga, el consumo se redujo a 2,48 m³/día, totalizando un ahorro de 298,69 m³. Los indicadores para la agencia de Curitiba fueron de 0,61 m³/día, 34,69 L/empleados/día, 1,98 L/servicio/día y 0,29 L/m²/día. Ambos gráficos analizados presentaron resultados satisfactorios en cuanto a la detección de fugas, consumos excesivos de agua y otros eventos atípicos. El gráfico EWMA mostró un mejor desempeño para la detección de pequeñas variaciones en el consumo.

Palabras clave: Gráficos de control; Consumo de agua; Monitoreo remoto; Sostenibilidad; Edificaciones públicas; Monitoreo estadístico.

1 Introdução

O desenvolvimento das sociedades atuais é fortemente pautado na interdependência entre as ambições sociais e a disponibilidade e qualidade dos recursos naturais, como a água (Cosgrove; Loucks, 2015). Entretanto, nas últimas décadas, o aumento percentual do uso da água em escala global superou os percentuais de crescimento populacional, levando diversas regiões do mundo a situações de estresse hídrico (Cosgrove; Loucks, 2015). O planejamento e implementação de estratégias de gestão da demanda de água é importante para garantir o abastecimento de água de maneira econômica e confiável (Cominola *et al.*, 2015). Neste sentido, monitorar o consumo de água é essencial para uma adequada gestão do uso da água pois permite o conhecimento detalhado dos padrões de consumo (Cominola *et al.*, 2015). Britton *et al.* (2008) mencionam que a utilização de sistemas de monitoramento remoto do consumo de água gera benefícios como decréscimo do uso de água, otimização do processo de bombeamento de água e aumento no tempo de vida da infraestrutura. Kim *et al.* (2008) mencionam a importância de novas tecnologias e métodos no processo de monitoramento de recursos hídricos com intuito de reduzir perdas ocasionadas por desperdício e/ou vazamentos.

Os Gráficos de Controle Estatístico (GCE) são ferramentas utilizadas para controle estatístico, com origem no setor produtivo, mas vêm ampliando suas aplicações nas últimas décadas em diferentes setores da sociedade (Shamsuzzaman *et al.*, 2016). Vasconcellos *et al.* (2020) aplicaram gráficos de controle para monitorar a vazão de água em usinas de pequeno porte no país. Wan *et al.* (2022) propuseram um sistema de detecção de vazamento on-line baseado no uso de gráficos de controle adaptados. Freitas *et al.* (2019) utilizaram gráficos de controle para monitorar o consumo de água em bacias sanitárias antes e após a troca dos acabamentos de válvulas de descarga por modelos de duplo acionamento em um edifício de um campus universitário. Assim, os GCE apresentam-se como uma alternativa para o monitoramento do consumo de água. O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a utilização de Gráficos de Controle Estatístico para monitoramento de consumo de água em agências bancárias, a partir da análise de um estudo de caso. Este artigo apresenta a seguinte estrutura: na seção 2 apresentam-se os conceitos dos gráficos de controle estatístico de processos; na seção 3 estão os procedimentos metodológicos e descrição do estudo de caso; os resultados e discussão são apresentados na seção 4 e as conclusões e considerações finais na seção 5.

2 Gráficos de controle estatístico de processos

A área de controle de qualidade estatístico pode ser definida de forma ampla por métodos estatísticos e de engenharia utilizados em medições, monitoramento, controle e melhoria de qualidade (Montgomery; Runger, 2003). Um gráfico de controle pode ser definido por pontos que representam uma estatística de medições de amostras obtidas em um determinado processo ao longo do tempo (Montgomery, 2012). Utilizando-se da média, é determinada uma Linha Central (LC), que representa o valor médio dos dados coletados correspondentes a um estágio do processo que está sob controle. Um processo é definido como sob controle quando todos os pontos amostrais coletados apresentam valores satisfatórios e/ou esperados dentro do contexto do processo. Por esta razão limites de controle são utilizados para determinar se pontos amostrais

coletados posteriormente estão de acordo com os parâmetros esperados (Montgomery, 2012).

Limites de controle são duas linhas horizontais de referência denominadas de Limite de Controle Superior (LCS) e Limite de Controle Inferior (LCI). Estes limites de controle determinam se o processo está sob controle, considerando uma situação em que quase todos os pontos amostrais estejam contidos entre os limites LCS e LCI. Os gráficos de controle são normalmente segmentados em duas seções: Fase 1, que representa os dados sob controle estatístico e que são utilizados para calcular os limites de controle, e Fase 2, que representa os dados em que se deseja exercer controle estatístico, ou seja, a fase de monitoramento do processo (Montgomery; Runger, 2003).

Os gráficos de controle de Shewhart, propostos em 1931, são amplamente utilizados para o controle de processos em diversos setores da indústria, e podem ser operados com amostras agrupadas ou observações individuais (QIU, 2014). O limite de controle LCS, a linha central LC e o limite de controle LCI para o gráfico de Shewhart para medidas individuais são expressos, respectivamente, pelas Equações 1, 2 e 3 (Montgomery; Runger, 2003).

$$LCS = \bar{X} + 3 * \hat{\sigma} \quad (1)$$

$$LC = \bar{X} \quad (2)$$

$$LCI = \bar{X} - 3 * \hat{\sigma} \quad (3)$$

$\bar{X}$ a média amostral e $\hat{\sigma}$ o desvio-padrão estimado a partir das observações originais, definido pela Equação 4, com os limites usualmente estabelecidos a três (3) desvios-padrão (Montgomery; Runger, 2003).

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (4)$$

$\overline{MR}$ o intervalo móvel de duas observações consecutivas, de acordo com a Equação 5 (Montgomery; Runger, 2003), e d_2 representa a média de distribuição do intervalo relativo do processo, que para um gráfico de observações individuais, possui valor de 1,128 (Montgomery; Runger, 2003).

$$\overline{MR} = |X_i - X_{i-1}| \quad (5)$$

Uma desvantagem do gráfico Shewhart é sua baixa sensibilidade para detectar pequenas variações no processo. Uma razão é que o gráfico de Shewhart utiliza somente a informação do último ponto computado, e ignora a informação contida na sequência de pontos (Montgomery; Runger, 2003). Uma alternativa ao gráfico de Shewhart é o gráfico de Média Móvel com Ponderação Exponencial (EWMA) (Roberts, 2000). O EWMA é construído baseando-se em uma média ponderada de todas as observações disponíveis até um determinado instante, atribuindo pesos para as informações. Assumindo as observações originais como $X_1, X_2, \dots, X_i$, e $Z_1, Z_2, \dots, Z_i$ como as observações com seus pesos respectivos atribuídos, o gráfico EWMA é definido pela Equação 6 (Montgomery; Runger, 2003).

$$Z_i = \lambda * X_i + (1 - \lambda) * Z_{i-1} \quad (6)$$

X_i o valor mais recente observado, λ o parâmetro de peso ($\lambda \in (0,1]$), e o valor inicial é o próprio valor nominal ($Z_1 = X_1$). Da Equação 6, é possível inferir a Equação 7 (Montgomery, 2012).

$$Z_i = \lambda * \sum_{j=1}^i (1 - \lambda)^{i-j} * X_j + (1 - \lambda)^i * \bar{X} \quad (7)$$

O peso λ é expresso pela Equação 8 (MONTGOMERY, 2012).

$$1 = \lambda * \sum_{j=1}^i (1 - \lambda)^{i-j} * X_j + (1 - \lambda)^i \quad (8)$$

Z_i é a média ponderada de $\bar{X}$ e de todas as observações coletadas até o ponto i , e que o peso $\lambda * (1 - \lambda)^{i-j}$ obtido da observação i decai exponencialmente quando i se distancia de j . Também pode ser observado que quando se opta por um λ maior, um peso maior será atribuído à observação atual X_i e um peso menor será atribuído às observações anteriores. O oposto ocorre quanto menor for o valor de λ . No caso particular $\lambda = 1$ observamos que $Z_i = X_i$, e o gráfico EWMA se torna um gráfico de Shewhart (Qiu, 2014).

Assumindo que as observações X_i são variáveis independentes e com variância σ^2 , então a variância de Z_i é dada pela Equação 9 (QIU, 2014).

$$\sigma_{Zi}^2 = \sigma^2 * \left(\frac{\lambda}{2 - \lambda} \right) * (1 - (1 - \lambda)^{2i}) \quad (9)$$

A linha central (LC) corresponde à média das observações, e o cálculo dos limites de controle UCL e LCL, respectivamente, é apresentado nas Equações 10 e 11 (QIU, 2014).

$$UCL = \mu_0 + L * \sigma * \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2 - \lambda} \right) (1 - (1 - \lambda)^{2i})} \quad (10)$$

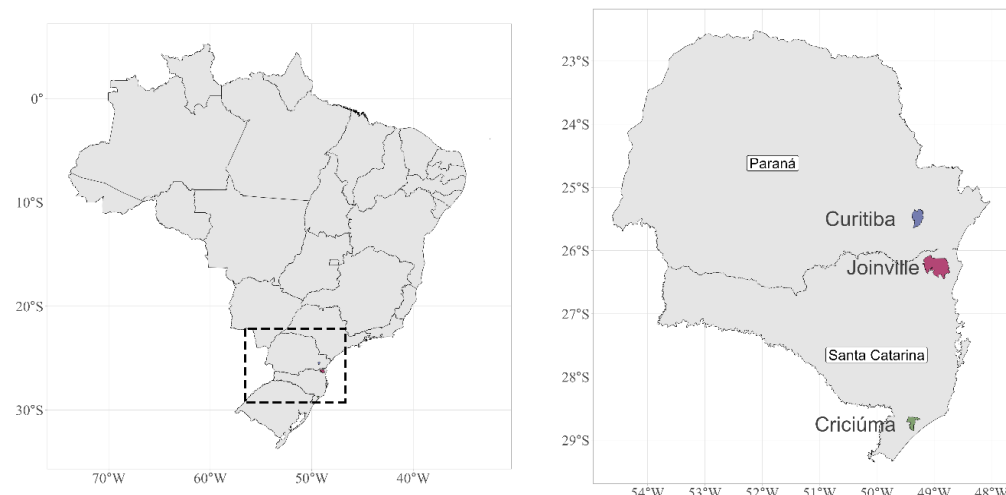
$$LCL = \mu_0 - L * \sigma * \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2 - \lambda} \right) (1 - (1 - \lambda)^{2i})} \quad (11)$$

L corresponde à extensão dos limites de controle sendo um valor frequentemente utilizado para L é 3 (Mongomery; Runger, 2003). Pequenos valores para λ são recomendados para detectar pequenas variações no processo, enquanto valores maiores para λ apresentam um melhor desempenho para detectar grandes variações (Qiu, 2014). O valor de λ adotado neste estudo foi de 0,2.

3 Metodologia

3.1 Objeto de estudo

As três agências bancárias estão localizadas na região sul do Brasil, divididas em dois estados: Paraná (Agência de Curitiba) e Santa Catarina (Agências de Criciúma e Joinville). Na Figura 1 está representada a localização geográfica das três agências.

Figura 1: Localização geográfica das agências

A agência de Joinville (Santa Catarina) está localizada no centro do município possui área interna de 2.032,23 m², garagem coberta com 312,08 m², que em conjunto com as áreas externas totalizam uma área construída de 3.165,40 m². Foi inaugurada no dia 01/06/1978 e durante o período deste estudo contava com 57 funcionários, distribuídos entre bancários e auxiliares (vigilantes, zeladores etc.). A estrutura da agência é constituída pelo pavimento térreo, pavimento superior (primeiro andar), mezanino e subsolo. A agência possui dois reservatórios de água, um deles localizado no subsolo com capacidade de 30.000 litros, e outro reservatório superior com capacidade de 20.000 litros. Na agência de Joinville constam os seguintes equipamentos sanitários: 28 bacias sanitárias (duas com válvula de descarga e 26 com caixa acoplada), um mictório, 18 lavatórios, seis bebedouros (três reservados ao público e três reservados aos funcionários) e três torneiras. A agência não possui nenhum sistema alternativo de abastecimento de água e possui um sistema de climatização central de água gelada com torre de resfriamento que consome água por evaporação.

A agência de Criciúma (Santa Catarina) está localizada no centro do município, possui área interna de 1.158,44 m², garagem coberta com 835,43 m², que em conjunto com as áreas externas totalizam uma área construída de 3.554,06 m². Esta agência foi inaugurada no dia 26/03/2006 e durante o período deste estudo contava com um total de 35 funcionários. A estrutura da agência é dividida em duas seções: a primeira delas corresponde à agência bancária (térreo e mais uma seção do primeiro pavimento), e a segunda corresponde ao edifício administrativo (o restante do primeiro pavimento e o segundo pavimento), totalizando três andares. A agência possui três reservatórios de água, dois destes localizados no subsolo com capacidade de 3.000 litros cada, e outro reservatório superior com capacidade de 3.000 litros. Na agência constam os seguintes equipamentos sanitários: 18 bacias sanitárias (quatro com válvula de descarga e 14 com caixa acoplada), três mictórios, 13 lavatórios, quatro bebedouros (um reservado ao público e três reservados aos funcionários) e oito torneiras. A agência não possui nenhum sistema alternativo de abastecimento de água.

A agência de Curitiba (Paraná) está localizada em um bairro do município, com uma área interna de 1.187,89 m², garagem coberta com 931,00 m², que em conjunto com as áreas externas totalizam uma área construída de 2.118,89 m². Esta agência foi inaugurada no dia 22/10/2010 e durante o período deste estudo contava com um total de 18 funcionários. A agência conta com dois andares: térreo e 1º pavimento. Esta agência

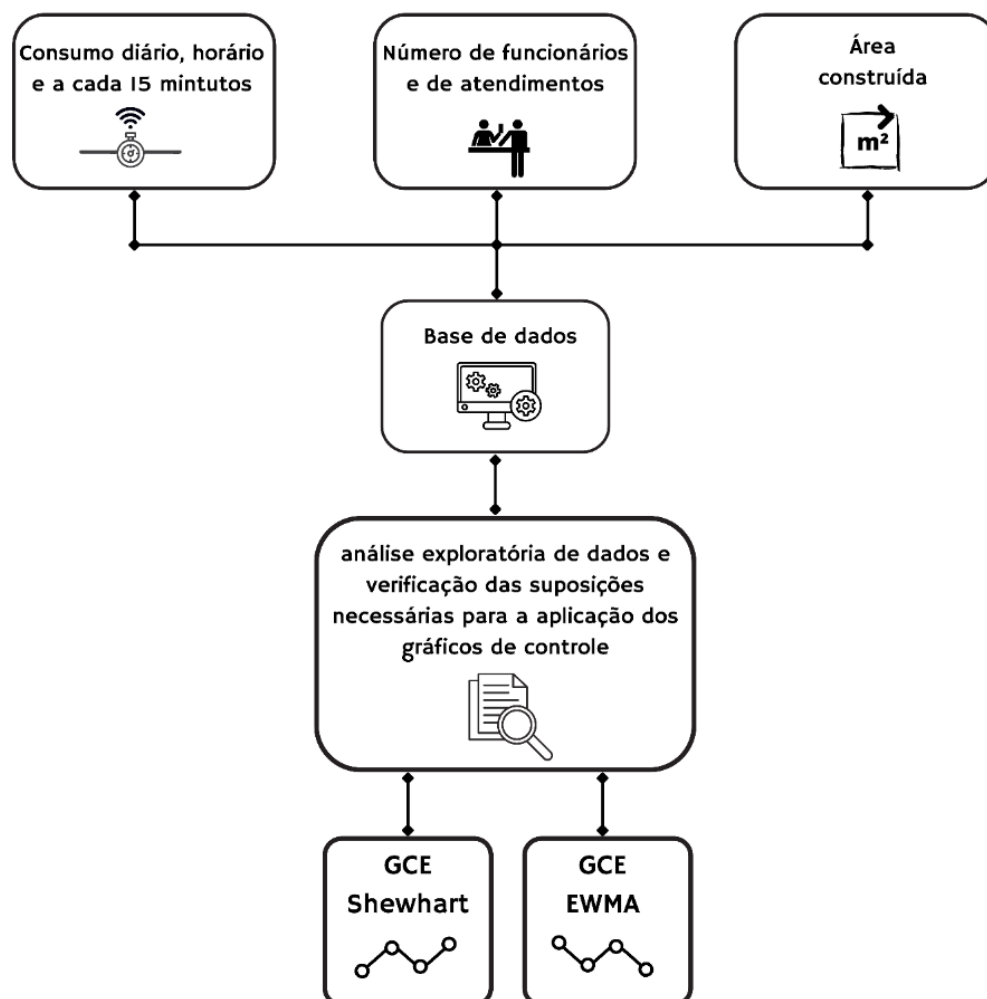
possui dois reservatórios de água, um destes localizado no subsolo com capacidade de 5.000 litros, e outro reservatório superior com capacidade de 2.000 litros. A agência possui os seguintes equipamentos sanitários: nove bacias sanitárias (quatro com válvula de descarga e cinco com caixa acoplada), um mictório, 11 lavatórios, três bebedouros (dois reservados ao público e um reservado aos funcionários) e quatro torneiras. A agência possui um sistema de aproveitamento de água da chuva, com capacidade de 1.000 litros utilizada para limpeza de calçada e rega de jardim.

3.2 Aplicação de Gráficos de Controle Estatístico para monitoramento do consumo de água

Foram registradas pelo sensor instalado em cada agência bancária, 35.424 leituras (uma a cada 15 minutos) no período de 31/10/2018 a 03/11/2019, totalizando 369 dias consecutivos de coleta de dados, sendo 262 dias úteis analisados. Para a elaboração dos gráficos de controle para monitoramento do consumo de água nas agências bancárias foi realizada a coleta de dados de consumo de água utilizando um sistema de telemetria. O sistema de monitoramento remoto é composto por um hidrômetro multijato (instalado após o medidor da concessionária local, sem interferência na medição existente), com sensor de leitura por saída de pulsos, registrador de dados (*data logger*) e transmissão via rede de telefonia móvel para um servidor com acesso via navegador de internet. O sensor acoplado ao hidrômetro registra uma leitura a cada 15 minutos, o que resulta 2.880 medições automáticas em 30 dias. Os dados são armazenados no registrador e sincronizados com servidor em nuvem, possibilitando acesso à distância.

Os dados foram obtidos em três formatos: consumo por dia, por hora e a cada 15 minutos. Complementarmente foram obtidas informações referentes à quantidade e volume dos reservatórios, número de funcionários, número de atendimentos diários e área construída das agências bancárias. O Fluxograma presente na Figura 2 apresenta os procedimentos metodológicos empregados. A análise dos dados a cada 15 minutos apresentou as seguintes dificuldades: ser uma unidade não usual em comparação a unidades horárias e diárias, e também, por apresentar em algumas medições valores aparentemente inconsistentes, o que pode estar relacionado ao limite mínimo de precisão do sensor, principalmente em baixas vazões. Com os dados horários, com quatro (4) medidas por hora, estas dificuldades foram superadas.

Figura 2: Procedimentos metodológicos



Os dados obtidos passaram por um tratamento estatístico, em que se optou por remover, nos dados utilizados para elaborar os gráficos de controle de Shewhart e EWMA, os fins de semana e feriados com intuito de balancear o conjunto de dados total e por fim obter análises de controle mais fiéis do processo. Devido à natureza do processo, neste caso o monitoramento do consumo de água, o LCL dos gráficos de controle foi truncado em zero (0), uma vez que não existe consumo negativo de água. Complementarmente, devido às variações do consumo causadas pelo horário de funcionamento das agências, os gráficos apresentaram diversos alarmes falsos abaixo da LCL, notavelmente pontos de consumo nulo durante o período noturno. Por estas razões, os LCLs dos gráficos foram truncados em zero, o que, neste caso, contribuiu para uma melhor visualização dos gráficos sem interferir no potencial de monitoramento destes.

Os gráficos de controle de Shewhart e EWMA foram gerados utilizando os dados disponíveis nos seguintes formatos: consumo por hora e consumo diário. Devido à grande e rápida variação presente nas leituras horárias, optou-se por alargar os limites sigma (desvio padrão), na ordem de 3 sigmas para 6 sigmas. A utilização de limites alargados é também uma alternativa para contornar dados auto correlacionados (Claro *et al.*, 2007). Foi utilizada a linguagem R (R Core Team, 2023) e o pacote QCC (Scrucca, 2004) para a construção dos gráficos de controle.

3.3 Cálculo de indicadores de consumo de água das agências bancárias

Foi calculado o indicador de consumo por funcionário por dia (em litros/funcionário/dia) e o indicador de consumo diário por área construída das três agências bancárias (em litros/m²/dia). Para complementar a análise de consumo, foi obtida a quantidade de atendimentos, de cada dia do período de coleta de dados. Desta maneira, foi calculado o indicador de consumo de água pela quantidade de atendimentos diários nas três agências bancárias (em litros/ atendimento/ dia). Um gráfico de linhas, expressando o número de atendimentos por dia, foi elaborado para analisar a variação do número de atendimentos das agências bancárias durante o período de coleta de dados. O número de atendimentos informado refere-se diretamente aos atendimentos internos, não considerando as transações de autoatendimento.

Para cada indicador de consumo (por número de atendimentos, por funcionário e por área construída) foram gerados diagramas de caixas com intuito de observar a variação do consumo per capita por dia dentre as agências bancárias. Complementarmente, para cada indicador de consumo, um gráfico de controle de Shewhart foi elaborado para analisar e comparar os indicadores consumo das três agências bancárias analisadas.

4 Resultados e discussão

4.1 Análise do consumo de água da agência bancária de Joinville

Os gráficos presentes nas Figuras 3 e 4 expressam, respectivamente, gráficos de controle de Shewhart e EWMA de consumo diário para a agência de Joinville. Considerando os dados diários, na agência bancária foi encontrada a média de consumo diário de 4,51 m³/dia, consumo máximo de 25,68 m³/dia e desvio padrão de 2,94 m³/dia. No dia 30/01/2019 ocorreu um consumo alto atípico, como demonstrado nos gráficos pelos pontos acima da LCS. De acordo com a vistoria realizada na agência, este consumo foi provavelmente causado por pessoas em situação de rua utilizando uma torneira na parte externa da agência. De acordo com as informações obtidas junto à gerência da agência, essas pessoas realizavam a abertura da torneira utilizando uma chave manual improvisada, porém não realizavam o fechamento após o uso, o que ocasionou o consumo atípico (25,68 m³/dia) observado nos gráficos.

É possível identificar este evento nas Figuras 3 e 4. Todavia, o gráfico EWMA (Figura 4) apresentou três dias consecutivos (31/01/2019, 01/02/2019 e 02/02/2019) como fora de controle, isso ocorreu devido à natureza do gráfico EWMA, que atribui peso às variáveis de acordo com as observações antigas (neste caso o consumo atípico do dia 30/01/2019). Sendo assim, os demais dias foram considerados alarmes falsos. Também foi possível observar uma gradual redução na média de consumo a partir do dia 29/04/2019. Este decréscimo foi mais visível no gráfico EWMA (Figura 4), em razão do potencial do gráfico EWMA para detectar pequenas e graduais mudanças. Outros dois dias de consumo acima da LCS foram:

- a. 02/11/2018 - consumo de 11,47m³/dia no terceiro dia após a instalação do sistema na agência. Os primeiros dados foram disponibilizados, via navegador de internet, apenas no dia 13/11/2018, o que prejudicou a análise.
- b. 14/10/2019 - consumo de 12,69m³/dia: no período das 16h às 23h30, ocorreu um serviço de reforma, com uso de água no processo construtivo e a na limpeza do local.

Figura 3: Gráfico de controle de Shewhart – consumo diário da agência bancária de Joinville

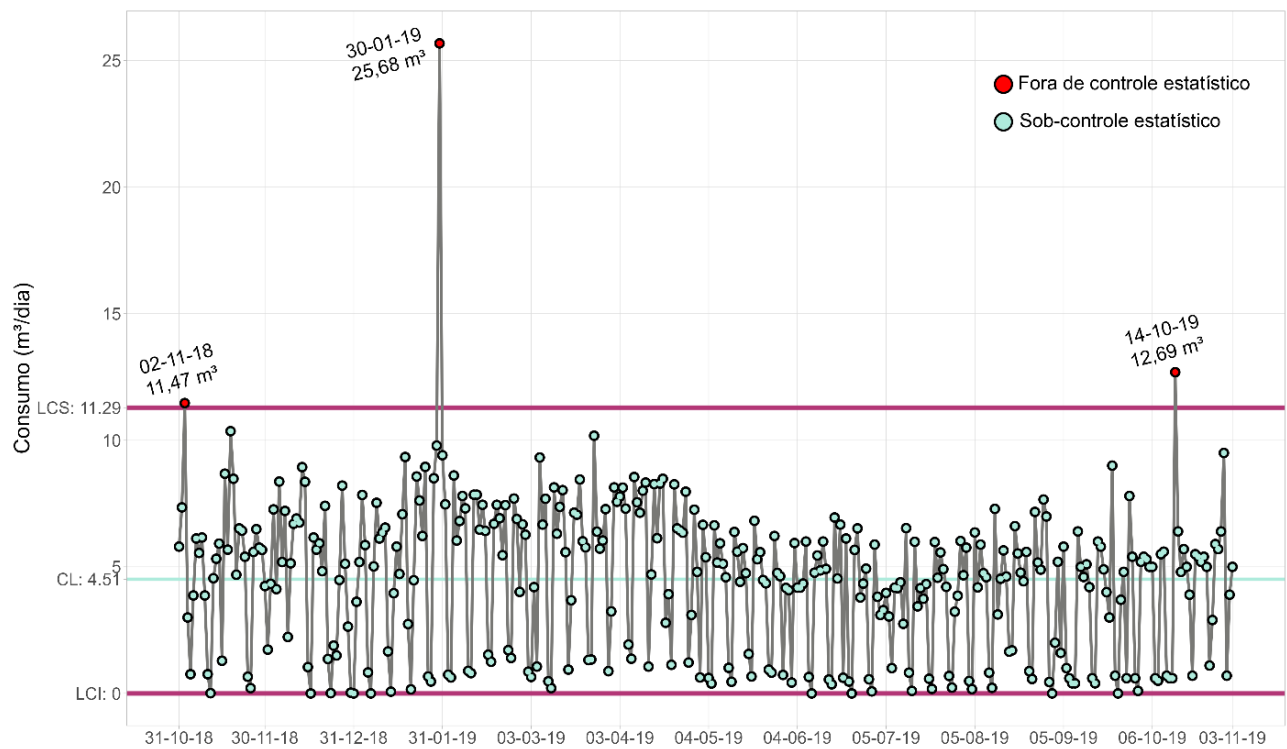
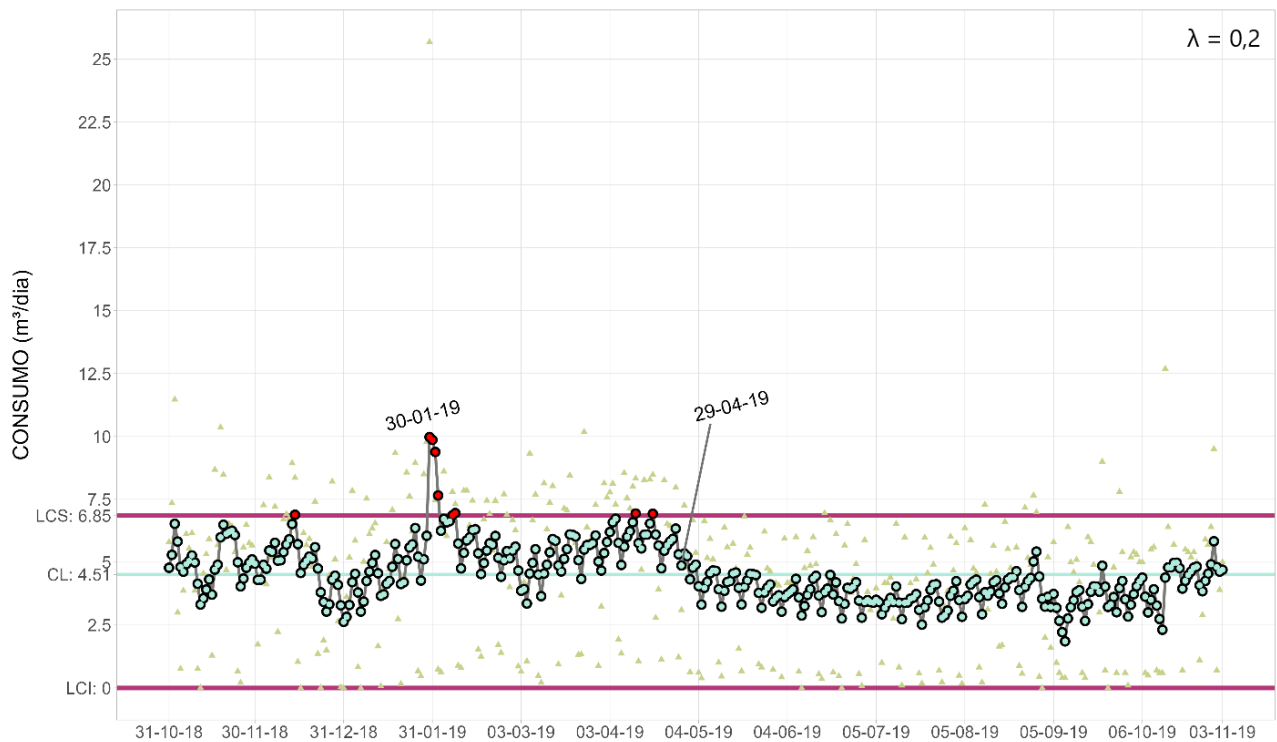


Figura 4: Gráfico de controle EWMA – consumo diário da agência bancária de Joinville



Nos gráficos presentes nas Figuras 5 e 6 podem-se observar respectivamente os Gráficos de Controle de Shewhart e EWMA em intervalo horário no período de 29/01/2019 até o final do dia 30/01/2019 para a agência de Joinville.

Figura 5: Gráfico de controle de Shewhart - consumo horário da agência bancária de Joinville no período de 29/01/2019 até 30/01/2019

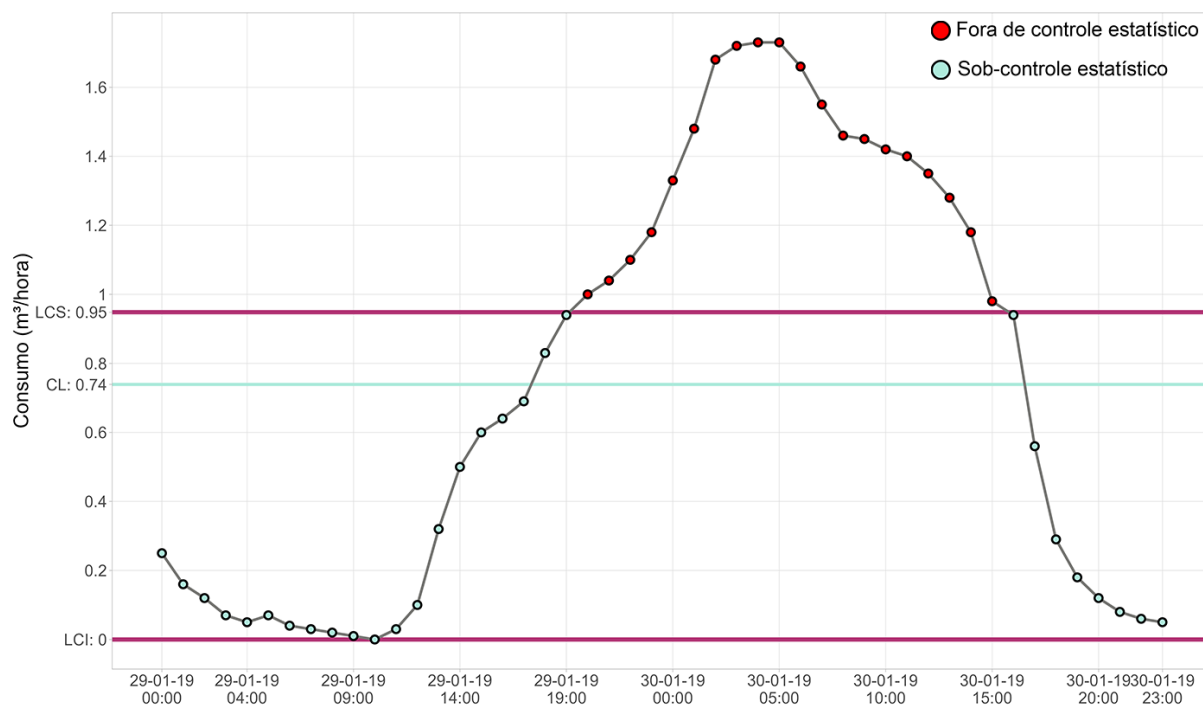
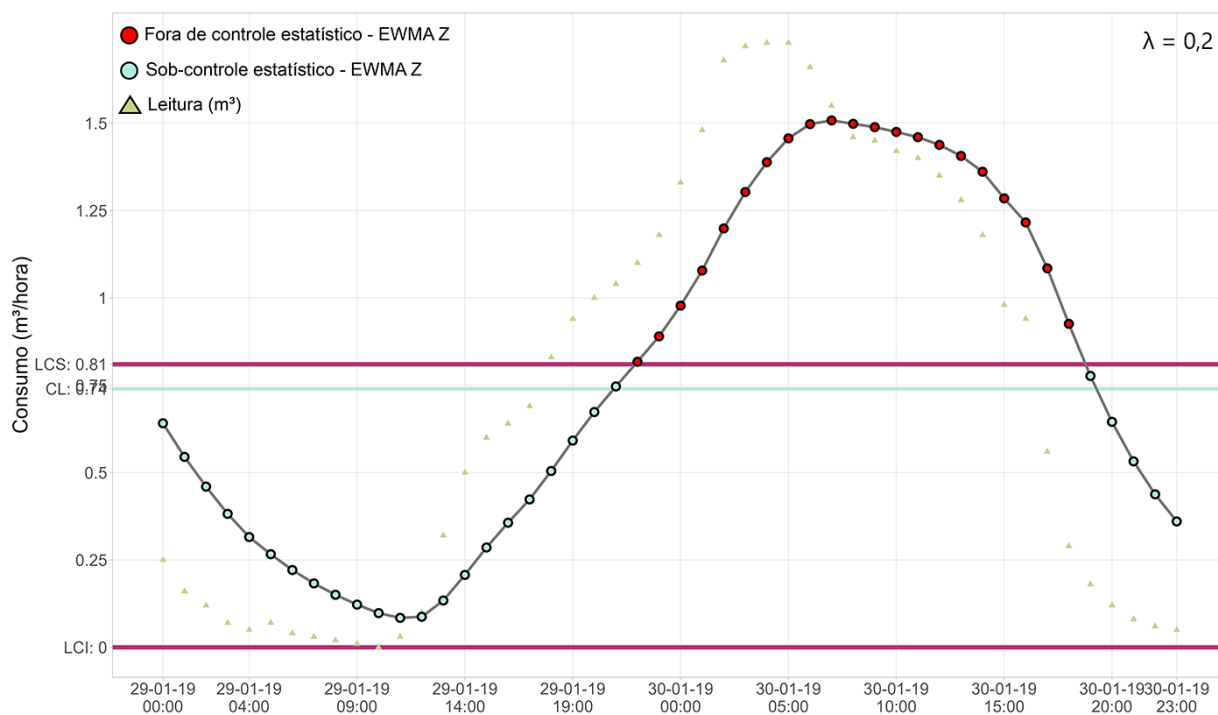


Figura 6: Gráfico de controle EWMA – consumo horário da agência bancária de Joinville no período de 29/01/2019 até 30/01/2019



Como pode ser observado nas Figuras 5 e 6, o consumo atípico inicia no período noturno do dia 29 e finalmente volta ao normal ao final do período vespertino do dia 30, indicando que a torneira externa foi fechada.

4.2 Análise do consumo de água da agência bancária de Criciúma

As Figuras 7 e 8 mostram, respectivamente, os Gráficos de Controle de Shewhart e EWMA de consumo diário para a agência de Criciúma. Considerando os dados diários, na agência de Criciúma foi encontrada média de consumo diário de 4,18 m³/dia, consumo máximo de 20,65 m³/dia e desvio padrão de 3,69 m³/dia. Como pode ser observado nas Figuras 7 e 8, os gráficos de controle apontaram alguns períodos demarcados como fora de controle. As datas correspondentes a estes períodos atípicos, assim como as possíveis respectivas causas de consumo elevado, encontram-se a seguir:

- a. 19/11/2018 – consumo de 10,84 m³/dia, provavelmente um vazamento, o gráfico presente na Figura 9 demonstrou este período analisado de forma horária;
- b. 14/12/2018 – consumo de 11,07 m³/dia, provavelmente um vazamento, o gráfico presente na Figura 10 demonstra este período analisado de forma horária;
- c. 28/12/2018 a 07/01/2019 – consumo médio de 14,19 m³/dia, todavia conforme informado pela agência, este consumo atípico trata-se de uma limpeza no reservatório superior que se iniciou no dia 28/12/2018, desta forma o consumo atípico dos dias subsequentes ocorreu devido à limpeza e ao reabastecimento do reservatório;
- d. 09/02/2019 a 13/02/2019 – consumo médio de 11,50 m³/dia, neste período foi informado pela agência um vazamento em uma caixa acoplada, e o conserto foi realizado na manhã do dia 13/02/2019.
- e. 30/04/2019 – consumo de 9,22 m³/dia, provavelmente um pequeno vazamento ou consumo atípico;
- f. 25/05/2019 a 01/06/2019; 04/06/2019 a 05/06/2019; 18/06/2019 a 19/06/2019; 26/06/2019 a 28/06/29; 02/07/2019 – No dia 25/05/2019 os mecanismos de acionamento de 14 bacias sanitárias com caixa acoplada foram substituídos, o que pode ter ocasionado os consumos irregulares no final do mês de maio e durante junho. Como pode ser observado na Figura 7, os dias com vazões mínimas anteriores a este período não apresentaram valor zero, sugerindo um vazamento constante, que foi corrigido após a substituição dos mecanismos de acionamento.
- g. 30/10/2019 – consumo de 10,61 m³/dia, provavelmente um pequeno vazamento ou consumo atípico.

É importante destacar que a análise do gráfico EWMA (Figura 8) não identificou nenhum ponto fora de controle nos dias 19/11/2018; 14/12/2018; 30/04/2019 e 30/10/2019. Isto indica que estes pontos podem ser alarmes falsos no gráfico de Shewhart (Figura 7). Utilizando os dados horários do período de 19/11/2018 até 20/11/2018, na Figura 8 é possível observar que o consumo atípico inicia no período matutino do dia 19 e termina por meados das 22:00 horas do mesmo dia, sendo que no dia 20/11/2018 as leituras retornam ao normal.

O gráfico diário de Shewhart presente na Figura 7 apontou que o consumo irregular ocorrido foi no dia 14/12/2018, todavia como pode ser observado na Figura 10, parte do consumo irregular ocorreu no dia 13/12/2018. Este fato também salienta a importância de se trabalhar com os dados horários e diários em conjunto, tanto para acelerar o processo de detecção de consumo irregular quanto para um controle mais preciso do

processo. O gráfico diário de EWMA presente na Figura 8 demonstra a distinção entre dois períodos (anterior e posterior à troca dos mecanismos de acionamento das bacias sanitárias). Nota-se que o gráfico apresenta valores com variações menores, sem nenhum ponto acima da linha superior de controle, após a troca dos mecanismos de acionamento.

Figura 7: Gráfico de controle de Shewhart – Consumo diário – Agência de Criciúma

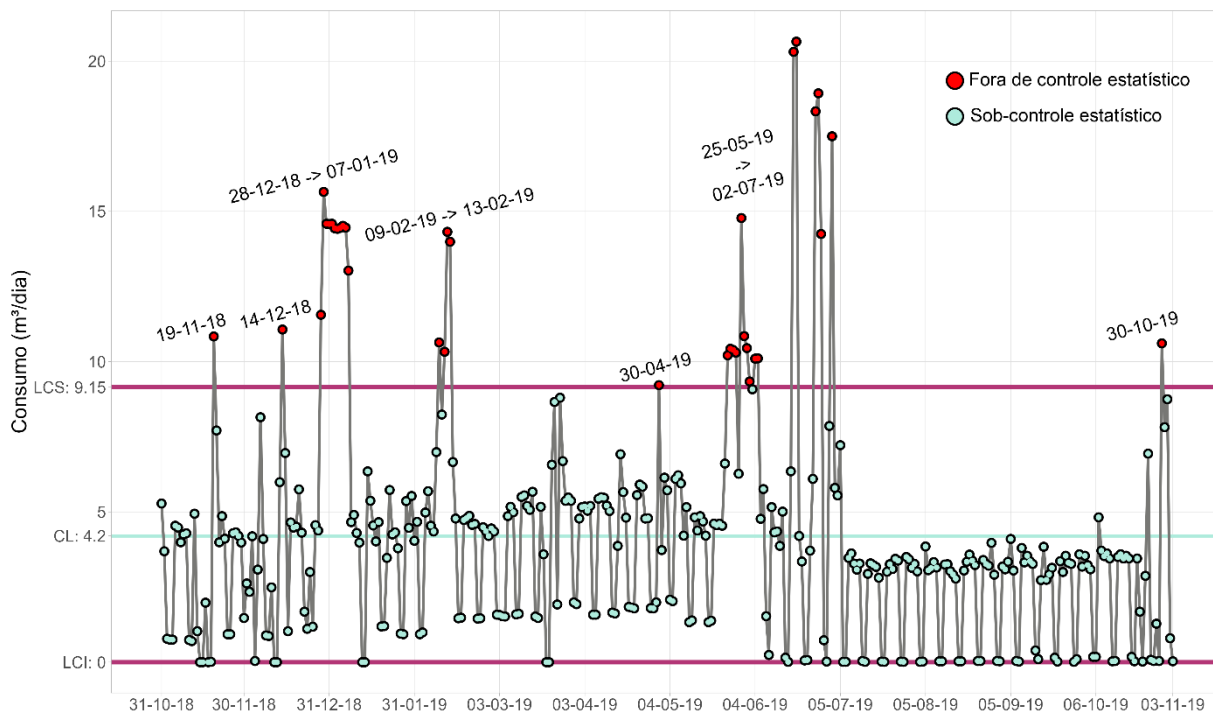


Figura 8: Gráfico de controle EWMA – Consumo diário – Agência de Criciúma

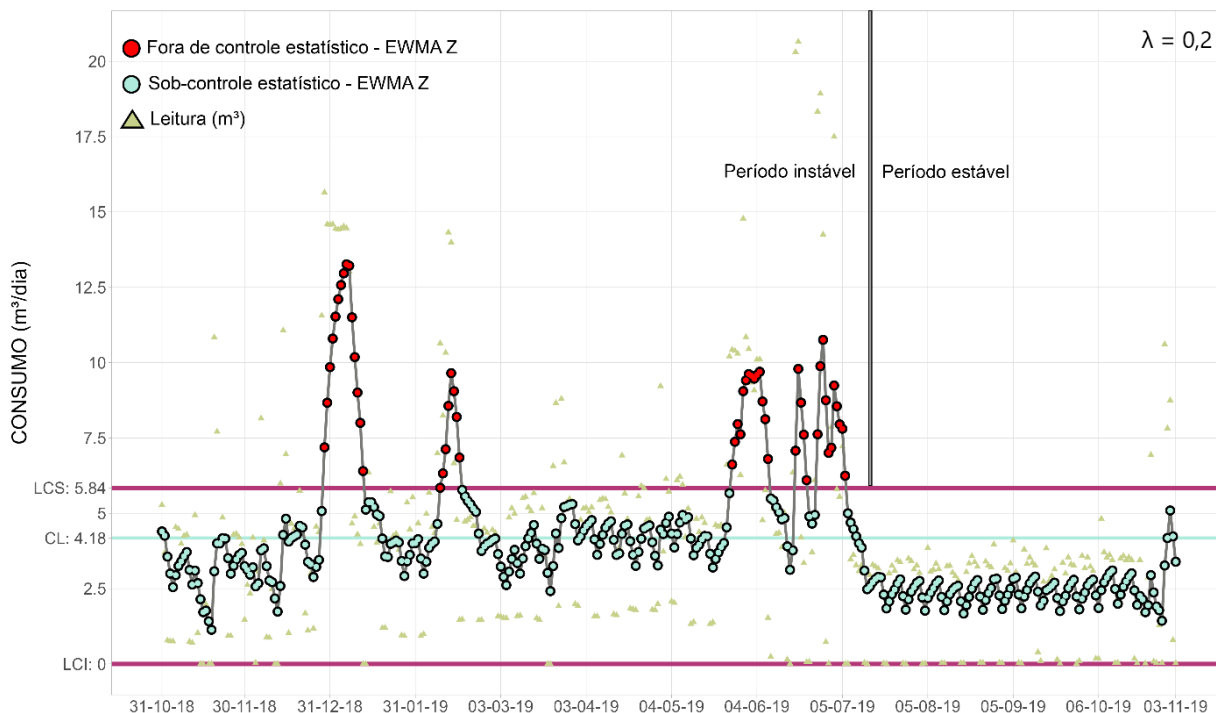


Figura 9: Gráfico de controle de Shewhart – Consumo horário no período de 19/11/2018 até 20/11/2018 – Agência de Criciúma

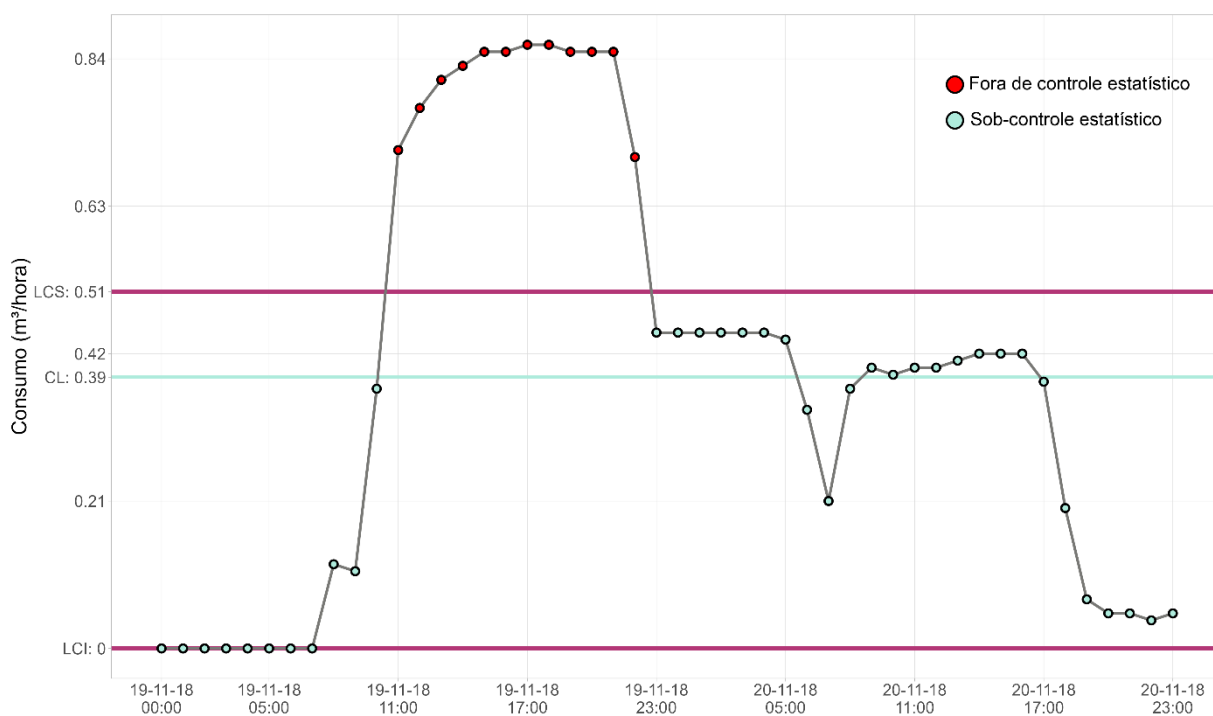
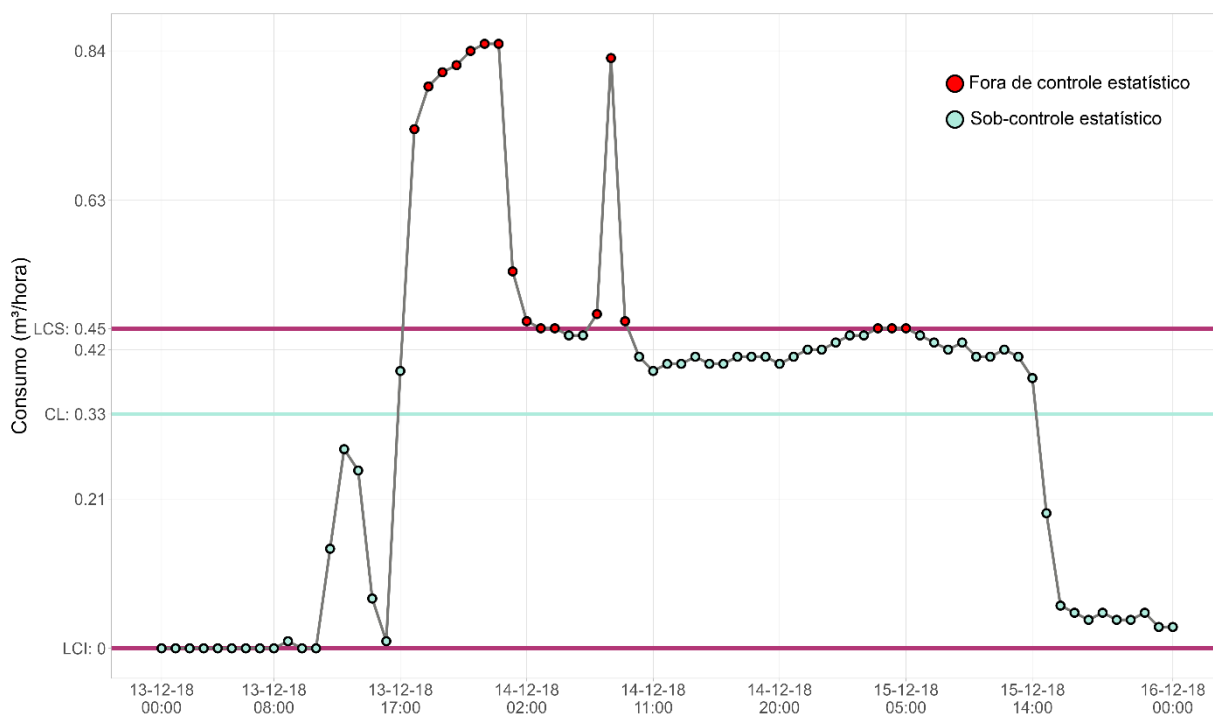


Figura 10: Gráfico de controle de Shewhart – Consumo horário no período de 13/12/2018 até 15/12/2018 – Agência de Criciúma



4.3 Análise do consumo de água da agência bancária de Curitiba

As Figuras 11 e 12 expressam respectivamente gráficos de Controle de Shewhart e EWMA de consumo diário para a agência de Curitiba. Considerando os dados diários, na agência de Curitiba a média de consumo diário é de 0,61 m^3/dia , com consumo

máximo igual a $4,82 \text{ m}^3/\text{dia}$ e desvio padrão de $0,75 \text{ m}^3/\text{dia}$. Comparando com as agências de Joinville e Criciúma, a agência de Curitiba apresenta média de consumo de água menor. Todavia isto não impede que os gráficos de controle registrem períodos de consumo irregular. No gráfico da Figura 11 é possível notar que em várias datas o consumo é igual a zero. Isso ocorre porque, conforme detalhado na seção 3.1, a agência de Curitiba possui dois reservatórios de água, com capacidade total de 7.000 litros e o consumo diário médio da agência é de 610 litros, o que faz com que o volume armazenado seja suficiente para vários dias. É importante ressaltar que este deve ser um ponto de atenção pois, conforme a NBR 5626 (ABNT, 2020), o volume total de água potável armazenado deve ser determinado de modo a garantir a potabilidade, evitando a redução excessiva da ação residual do agente desinfetante, considerando o período de detenção médio.

Figura 11: Gráfico de controle de Shewhart – Consumo diário na agência de Curitiba

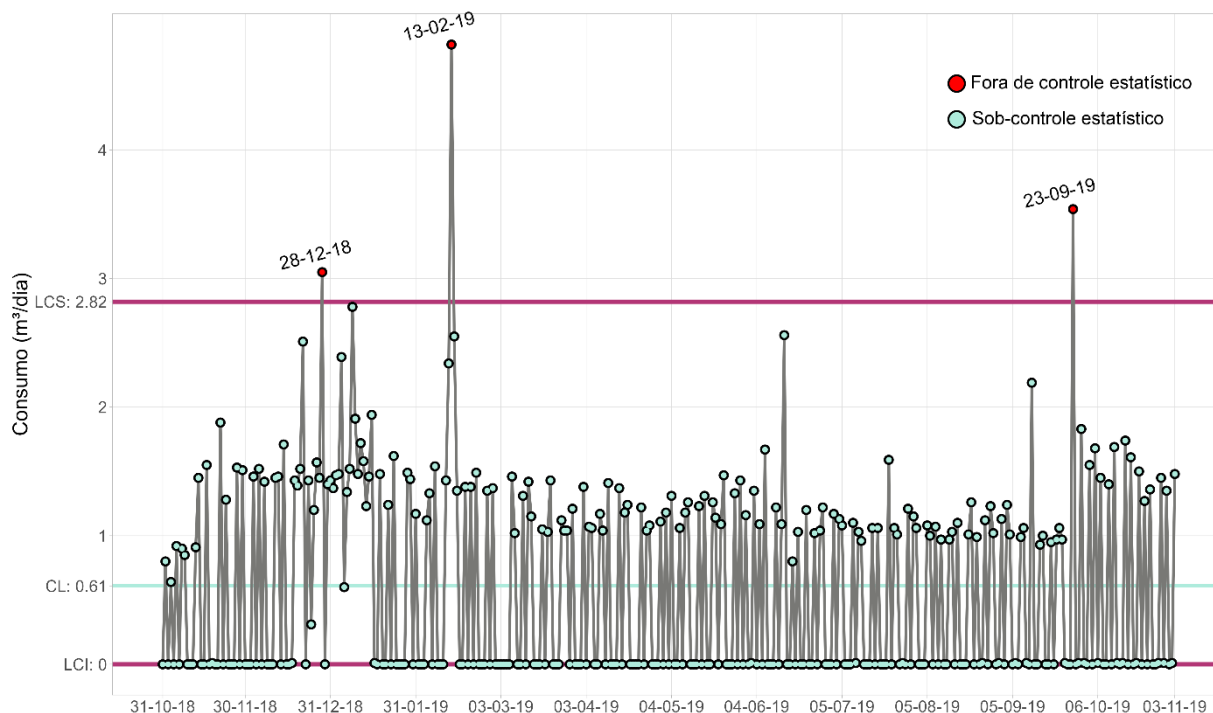
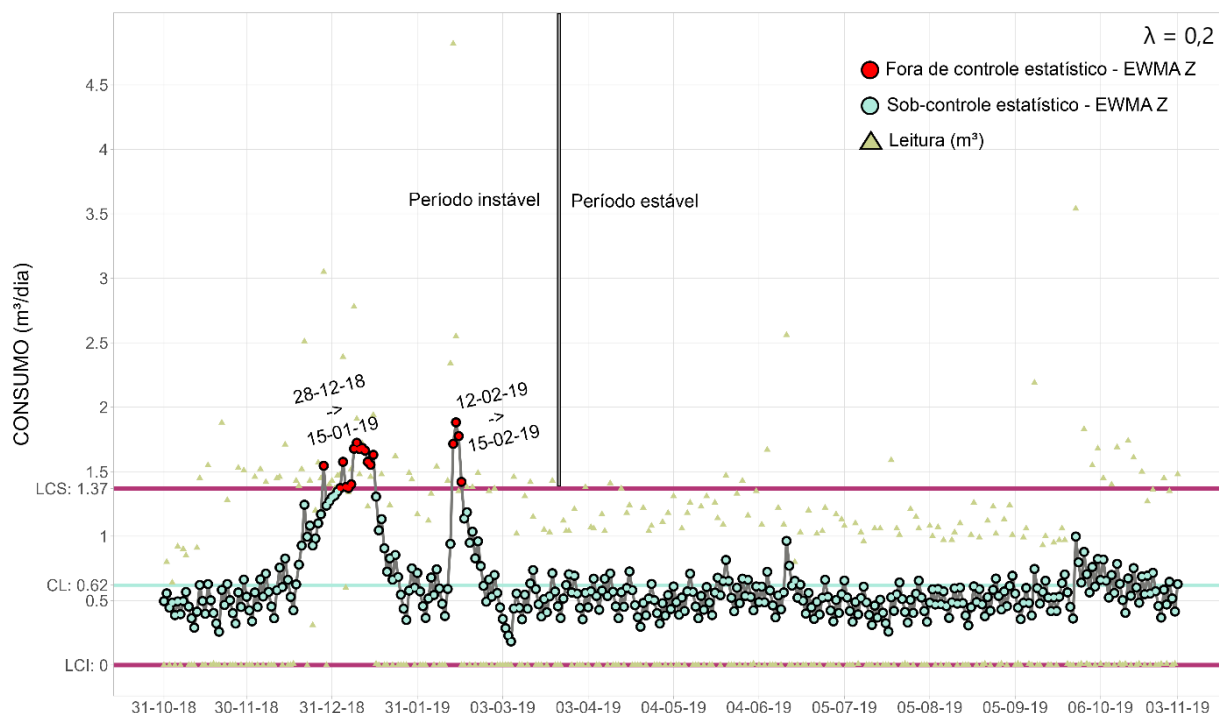


Figura 12: Gráfico de controle EWMA – Consumo diário na agência de Curitiba

Como pode ser observado nos Figuras 11 e 12, existem dois períodos de consumo irregular na agência de Curitiba, discutidos a seguir:

- 28/12/2018 a 15/01/2019 – o consumo médio deste período foi de 1,51 m³. Uma vistoria na agência foi realizada no dia 10/01/2019 e foi observado que havia uma bacia sanitária com vazamento. Conforme informado pelo responsável pelo monitoramento do sistema terceirizado, o sistema não apresentou nenhum alarme e não foi detectada nenhuma variação no aumento do consumo, enquanto os gráficos de controle foram capazes de detectar o consumo atípico. No gráfico da Figura 11, apesar dos limites de controle não apontarem nenhuma irregularidade com exceção do dia 28/12/2018, nota-se que as vazões mínimas deste período não apresentaram valor zero, podendo este ser considerado um indicativo de um vazamento constante. Esta inconsistência das vazões mínimas pode ser observada mais claramente no gráfico EWMA (Figura 12).
- 12/02/2019 a 15/02/2019 – o consumo médio deste período foi de 1,74 m³. Conforme informado pela agência, a mesma bacia sanitária do período discutido previamente estava com vazamento. O vazamento foi corrigido na manhã do dia 13/02/2019. Novamente, o gráfico EWMA (Figura 12) apresenta pontos acima da LCS até o dia 15/02/2019, isso ocorre devido à natureza do gráfico EWMA em atribuir peso de acordo com as leituras mais antigas. Um evento recorrente na análise dos gráficos foi que o gráfico EWMA apontou certos dias como fora de controle devido a sua natureza de atribuir peso aos dados predecessores. Um operador sem este conhecimento poderia erroneamente interpretar o gráfico, sendo que este problema não ocorreria com o gráfico de Shewhart.

4.4 Consumo de água por área construída

A agência de Joinville apresentou área total construída de 3.165,40 m², enquanto a agência de Criciúma apresentou valor de 3.554,06 m² e a agência de Curitiba valor de 2.118,89 m². A Tabela 1 em sequência expressa um sumário estatístico do consumo por área por dia, das três agências analisadas.

Tabela 1: Consumo por área por dia

		Agência		
		Joinville	Criciúma	Curitiba
Área Construída (m²)		3.165,40	3.554,06	2.118,89
Consumo por área (litros/m ² /dia)	Média	1,47	1,27	0,29
	Mediana	1,56	1,19	0,00
	Desvio Padrão	0,94	1,08	0,35

O diagrama de caixas presente na Figura 13 demonstra a distribuição do consumo por área por dia de cada agência analisada. O GCE de Shewhart apresentado na Figura 14 mostra o consumo por área por dia das três agências bancárias, durante o período analisado. Novamente, os limites de controle do gráfico presente na Figura 14 foram capazes de identificar eventos atípicos nas agências bancárias. Como esse fato se repete durante a análise do consumo por atendimentos, funcionários e área, infere-se que o consumo bruto pode ser usado para a identificação de tais eventos, dentro do contexto de gráficos de controle e da realidade deste estudo de caso. Em um relatório da *U.S. Energy Information Administration* (EIA, 2012), o consumo médio para edificações comerciais foi de 1,63 L/m²/dia. Desta forma, as agências de Joinville (1,47 L/m²/dia) e Criciúma (1,27 L/m²/dia) apresentaram um consumo mais próximo ao registrado pela EIA, enquanto a agência de Curitiba (0,29 L/m²/dia) apresentou um valor relativamente baixo em comparação. No entanto, cabe ressaltar que a agência de Curitiba possui um sistema de aproveitamento de água da chuva.

Figura 13: Consumo por área por dia – Agências de Joinville, Criciúma e Curitiba.

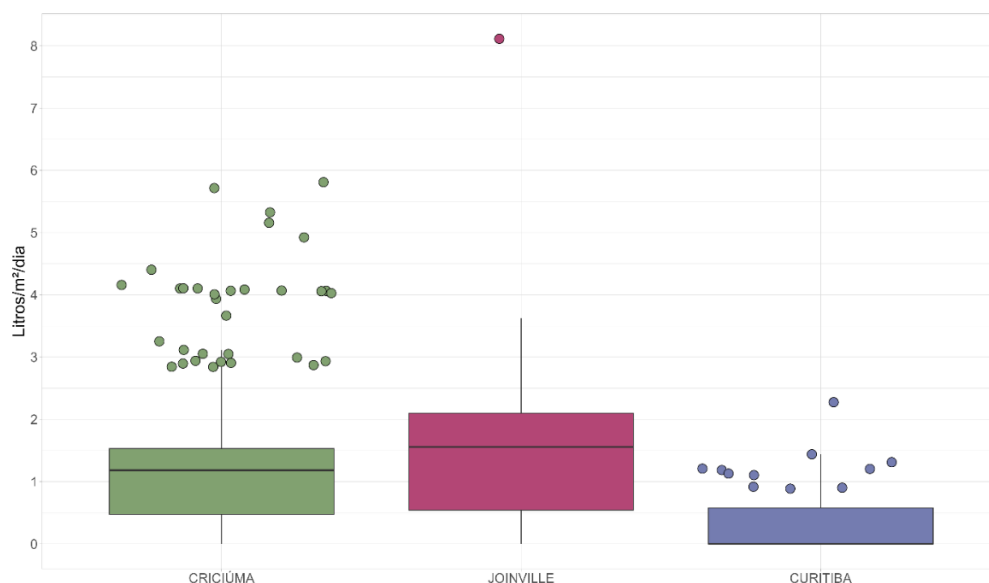
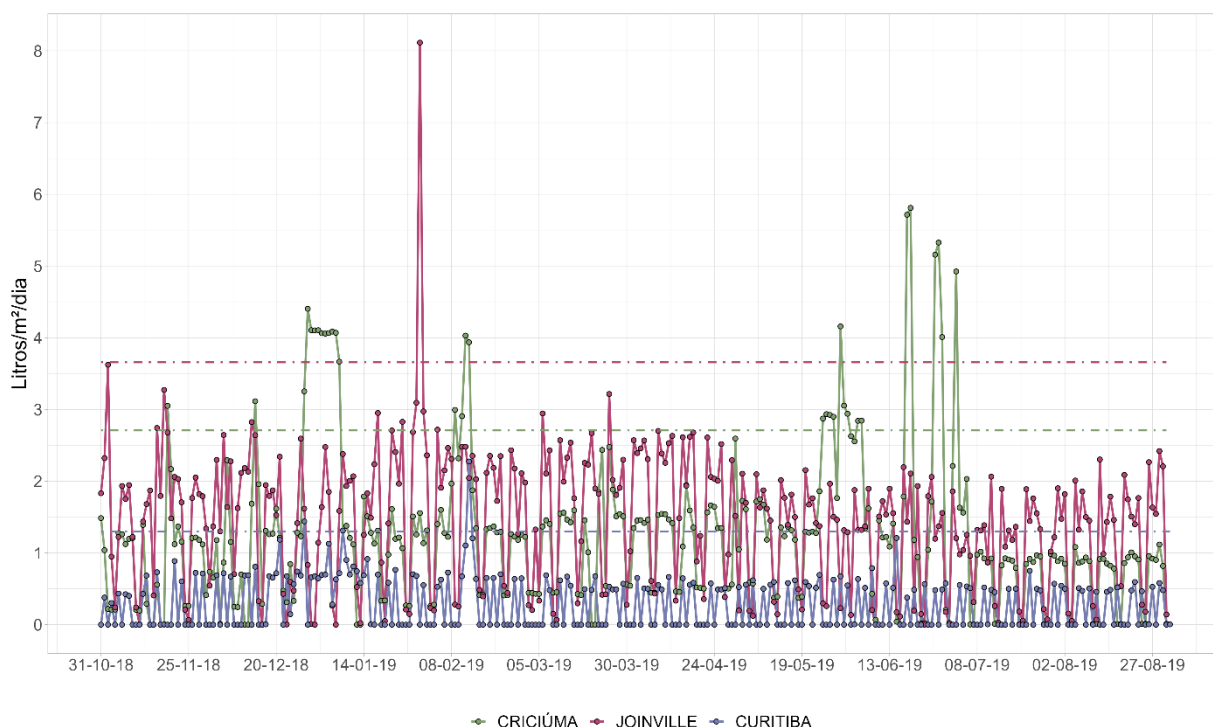


Figura 14: Gráfico de controle de Shewhart - Consumo por área por dia – Agências de Joinville, Criciúma e Curitiba.

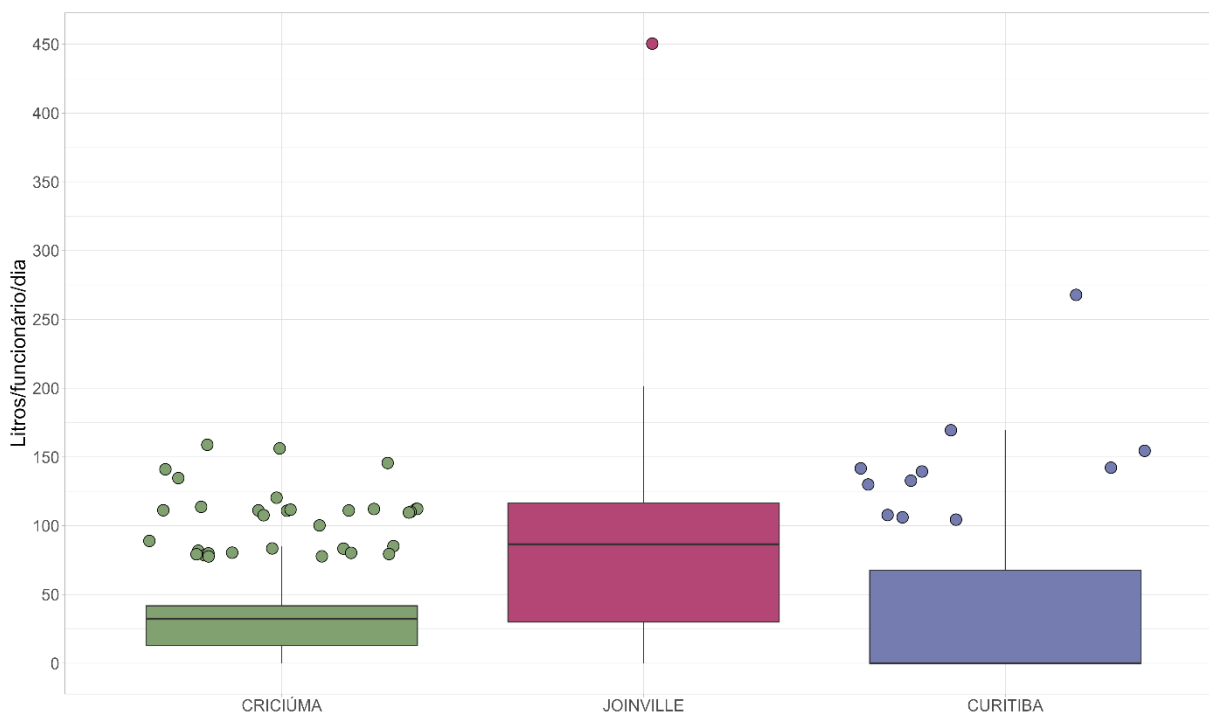
4.5 Consumo de água por funcionário

O número de funcionários ativos durante o período analisado, para a agência de Joinville foi de 40 bancários e 17 funcionários auxiliares (vigilantes, zeladores e estagiários) totalizando 57 funcionários. A agência de Criciúma totalizou 120 bancários e 10 funcionários auxiliares, totalizando 130 funcionários. Por fim, a agência de Curitiba totalizou 10 bancários e 8 funcionários auxiliares, totalizando 18 funcionários. A Tabela 2 apresenta um sumário estatístico do consumo por funcionário por dia, das três agências analisadas.

Tabela 2: Consumo por funcionário por dia.

		Agência		
		Joinville	Criciúma	Curitiba
Nº de funcionários	Bancários	40	120	10
	Auxiliares	17	10	8
Consumo por funcionário (litros/funcionário/dia)	Média	81,82	34,73	34,69
	Mediana	86,49	32,31	0,00
	Desvio Padrão	52,21	29,63	41,36

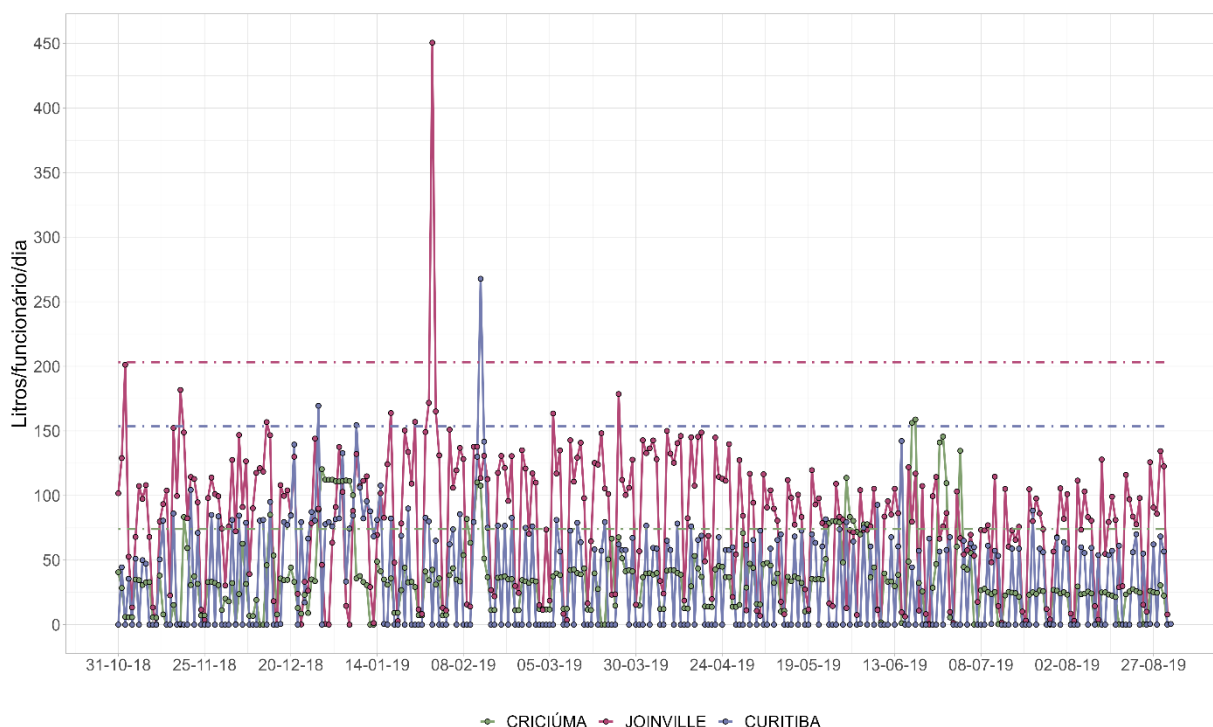
O diagrama de caixa presente na Figura 15 mostra a distribuição do consumo por funcionário, em litros por funcionário por dia, calculado para cada agência durante o período analisado. O GCE de Shewhart apresentado no gráfico da Figura 16 mostra o consumo por funcionário por dia das três agências bancárias, durante o período analisado.

Figura 15: Consumo por funcionário por dia – Agências de Joinville, Criciúma e Curitiba.

Pode ser observado no gráfico da Figura 16 que os limites de controle expressos por linhas tracejadas foram eficazes em detectar, utilizando o consumo por funcionário por dia, os eventos atípicos em cada agência analisada. Um exemplo é o pico de consumo que ocorreu de 29/01/2019 até o final do dia 30/01/2019 na agência de Joinville.

Em um estudo publicado pela United States Environmental Protection Agency (EPA, 2019), o consumo médio por funcionário em edificações comerciais esperado varia de 75,70 a 132,49 litros/funcionário/dia. Desta forma em média, a agência de Joinville (81,82 litros/funcionário/dia) se enquadrou nesta faixa, enquanto as agências de Criciúma (34,73 litros/funcionário/dia) e Curitiba (34,69 litros/funcionário/dia) apresentaram consumos mais baixos que os valores citados no documento. No estudo conduzido por Proença e Ghisi (2010), 10 edificações comerciais tiveram seu consumo de água médio por dia calculado, resultando em valores médios de 34,90 litros/pessoa/dia a 101,60 litros/pessoa/dia. O consumo da agência de Joinville se enquadrou na faixa mencionada no estudo de Proença e Ghisi (2010), enquanto as agências de Criciúma e Curitiba apresentaram valores de consumo per capita de água próximos aos menores valores encontrados no estudo dos autores. Kalbusch *et al.* (2018) realizaram um estudo em 10 edifícios públicos, sendo que dados de consumo de água foram coletados por um ano, resultando em uma faixa de consumo de 39,70 litros/usuário/dia até 69,30 litros/usuário/dia. Hackbarth *et al.* (2023) avaliaram o consumo *per capita* de 53 escritórios no município de Joinville, encontrando dados de consumo médio diário que variam de 6,87 a 159,10 litros/funcionário/dia. O consumo médio da amostra no estudo de Hackbarth *et al.* (2023) foi de 53,26 litros/funcionário/dia.

Figura 16: Gráfico de controle de Shewhart - Consumo por funcionário por dia – Agências de Joinville, Criciúma e Curitiba

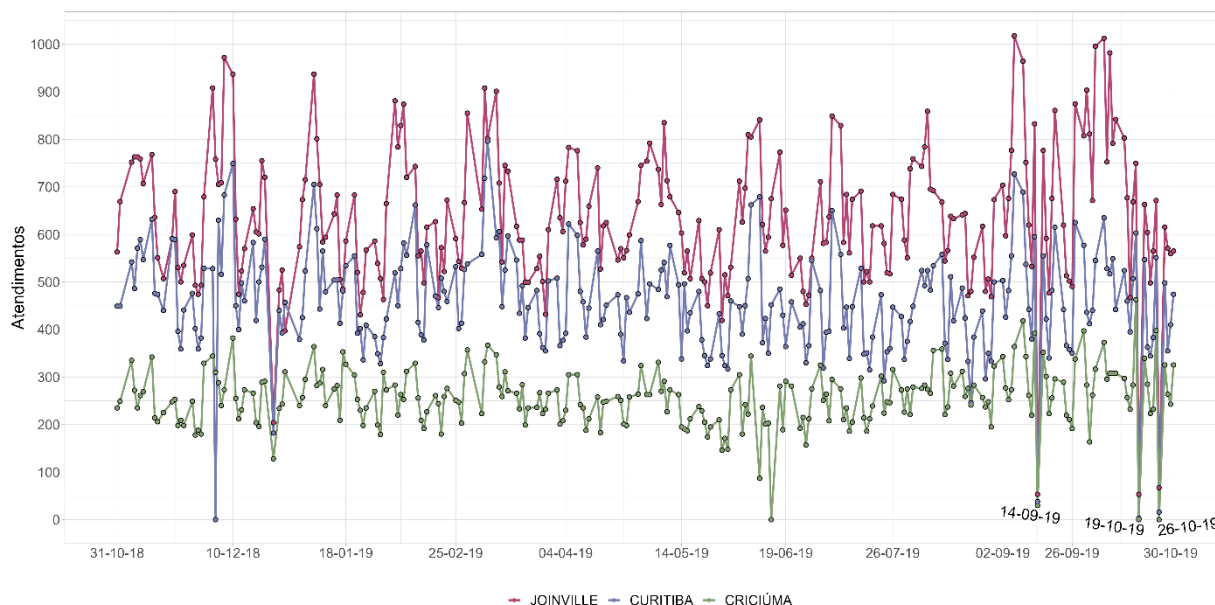


A discrepância entre o consumo de água da agência de Joinville em comparação com as agências de Curitiba e Criciúma poderia ser explicada, entre outros fatores, pela idade das agências, sendo a agência de Joinville a mais antiga dentre as três. Outra razão para o consumo mais elevado na agência no município de Joinville, em comparação com as outras duas agências analisadas neste estudo, é o sistema de refrigeração a água, presente apenas na agência de Joinville. É importante salientar ainda que a agência de Curitiba conta com um sistema de aproveitamento da água da chuva.

4.6 Consumo de água por número de atendimentos ao público

Foram obtidos os dados de número de atendimentos das três agências analisadas, durante o período de 31/10/2018 até 31/10/2019, totalizando 262 dias úteis analisados. O gráfico da Figura 17 mostra a variação do número de atendimentos durante o período analisado. Pode-se inferir do gráfico que a agência de Joinville apresentou o maior número de atendimentos por dia, seguido pela agência de Curitiba, enquanto a agência de Criciúma apresentou o menor número de atendimentos por dia.

Complementarmente pode-se observar no gráfico da Figura 17 três quedas bruscas no número de atendimentos ocorrendo simultaneamente no mesmo dia, nas três agências. Como as agências não operam normalmente aos sábados, estas quedas ocorreram em virtude de que nos sábados 14/09/2019, 19/10/2019 e 26/10/2019 as agências estavam funcionando para disponibilizar o saque do FGTS para seus clientes. Portanto, pode-se notar que para as três agências o número de atendimentos não apresentou variações acentuadas durante o período de coleta. As agências de Joinville, Curitiba e Criciúma apresentaram respectivamente um número de atendimentos médio por dia de 637, 257 e 460.

Figura 17: Variação do número de atendimentos – Joinville, Criciúma e Curitiba

A Tabela 3 apresenta um sumário estatístico do consumo por atendimento por dia, das três agências analisadas.

Tabela 3: Consumo por atendimento por dia

		Agência		
		Joinville	Criciúma	Curitiba
Consumo por atendimentos ao público (litros/atendimento/dia)	Média	10,06	20,93	1,76
	Mediana	9,37	17,32	2,07
	Desvio Padrão	7,35	15,99	1,78

O diagrama de caixa apresentado na Figura 18 mostra a distribuição do consumo por atendimento, em litros por atendimento por dia, calculado para cada agência durante o período analisado. O GCE de Shewhart apresentado na Figura 19 mostra o consumo por atendimento por dia das três agências bancárias, durante o período analisado. Os limites de controle para cada agência indicada são representados por uma linha tracejada.

Figura 18: Consumo por atendimento por dia – Agências de Joinville, Criciúma e Curitiba

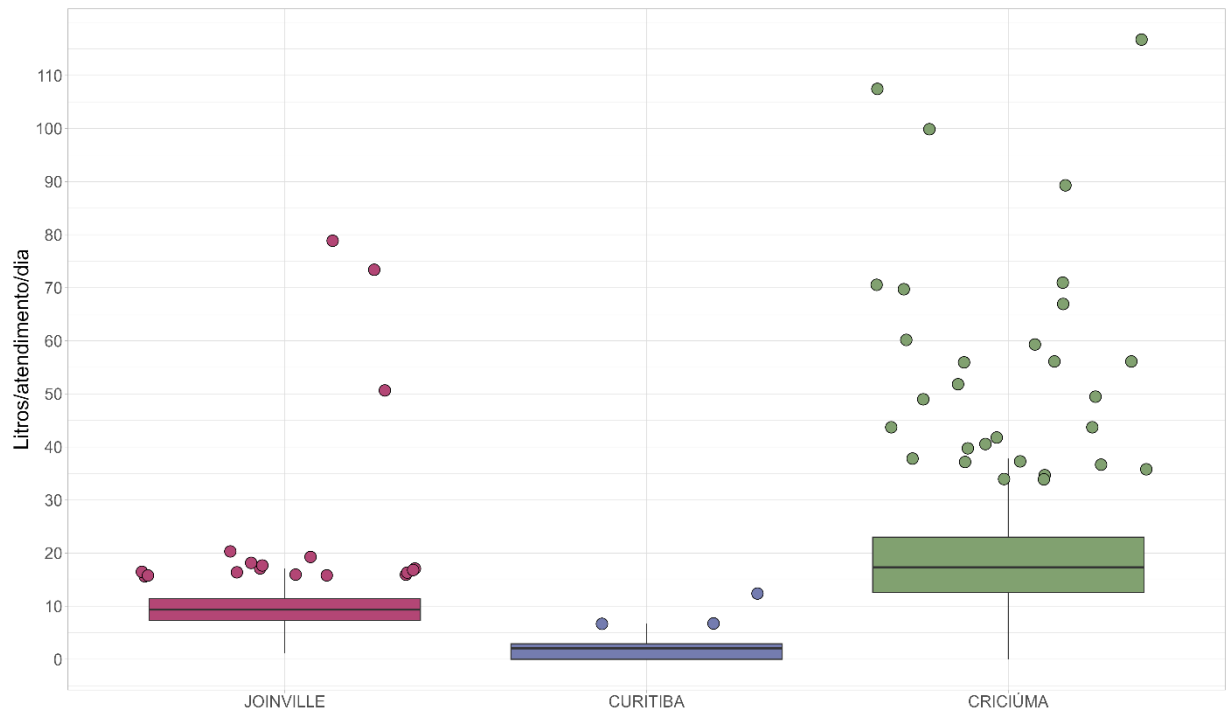
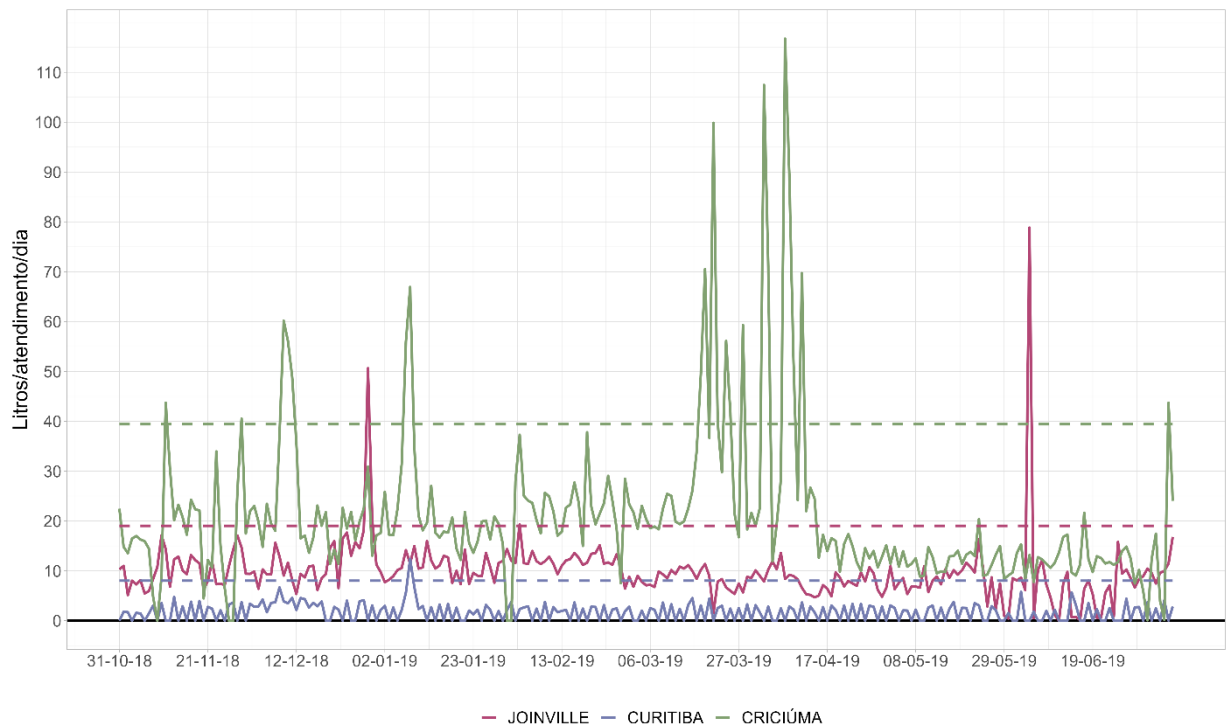


Figura 19: Gráfico de controle de Shewhart - Consumo por atendimento por dia – Agências de Joinville, Criciúma e Curitiba.



4.7 Discussão

Considerando os resultados encontrados, os gráficos de controle utilizados neste trabalho podem ser incorporados ao sistema de monitoramento de consumo de água em agências bancárias, em conjunto a um sistema telemetria. Isto se deve à versatilidade dos gráficos de controle, sendo estes capazes de analisar o consumo de

água em intervalos de tempo variados, como horário, diário, mensal, dentre outros. Todavia, recomenda-se que os gráficos de Shewhart e EWMA sejam utilizados em conjunto de forma a salientar as vantagens de cada gráfico (detecção de grandes variações de consumo para Shewhart e pequenas variações para o EWMA) e subsequentemente detectar vazamentos e outros consumos atípicos de forma rápida e eficiente, acarretando um tempo menor de resposta para solucionar eventuais problemas, e consequentemente, reduzindo o consumo de água. De forma contrária, variações repentinas e de grande magnitude são facilmente identificadas pelo gráfico de Shewhart e em menor escala no gráfico EWMA.

Neste trabalho, foi adotado o alargamento dos limites sigma (desvio padrão) da ordem 3 para 6 sigmas. O limite de 3 sigmas gerou grande quantidade de consumos com limites acima do controle, que não se comprovaram tratar-se de vazamentos pela equipe de manutenção. Possivelmente ocorreram aumentos pontuais de consumo. O limite de 6 sigmas apresentou maior precisão na detecção de vazamentos efetivamente comprovados e sanados pela manutenção. Desta forma, a abertura de chamados (que resultam em deslocamento até a agência e vistoria de encanadores para inspeção e correção do vazamento) foi mais eficiente, gerando menor quantidade de alarmes falsos de vazamento. Além do custo financeiro de cada chamado, acionar equipes muitas vezes para falsos vazamentos, causa frustração, desmotivando a equipe na inspeção para a solução de vazamentos reais.

O alargamento dos limites sigma da ordem 3 para 6 sigmas foi feito para evitar os problemas decorrentes da possível autocorrelação presente nos dados (CLARO *et al.*, 2007). Em relação aos indicadores de consumo por área, funcionário e atendimento, utilizando-se destes dados em gráficos de controle (conforme pode ser observado nos gráficos das Figuras 14, 16 e 19) foi possível observar graficamente alguns eventos que haviam sido detectados nos GCE que utilizam como variável somente o consumo diário das edificações. Desta forma, a utilização destes indicadores em conjunto a um GCE de Shewhart pode complementar a análise de consumo de água das agências. Além disso, os indicadores de consumo de água permitem a comparação entre diferentes agências bancárias e a criação de *benchmarks*.

O foco inicial do trabalho foi a análise dos excessos de consumo, dos pontos acima do Limite de Controle Superior (LCS), que representam grandes vazamentos ou usos indevidos. Após alguns meses de análise e monitoramento foi possível a resolução destes eventos extremos. Como pode ser observado na Figura 7, os dias com vazões mínimas iniciais não apresentaram valor zero (que é esperado no período noturno, quando não há pessoas na agência), sugerindo, um ou mais, pequenos vazamentos. A situação foi corrigida após a substituição de todos os mecanismos de acionamento das válvulas de descarga. Como consequência, os pontos de consumo diário que estavam acima da linha central (LC), passaram a ficar abaixo da LC, como esperado. Ficou comprovado que havia vários pequenos vazamentos constantes que não eram percebidos nem pelos usuários no local nem pela análise do consumo mensal. O vazamento constante pode não ser percebido na análise do consumo com apenas uma leitura mensal, assumindo-se que se trata de consumo efetivo. Somente com monitoramento do consumo horário foi possível detectar este problema e atuar imediatamente na correção. O resultado foi a redução do consumo médio de 4,99 m³/dia para 2,48 m³/dia, totalizando a economia estimada de 298,69 m³ até o término do período de análise.

5 Conclusões

Ambos os tipos de gráficos de controle abordados neste estudo apresentaram um bom desempenho quanto ao monitoramento do consumo de água da agência, salientando as vantagens e desvantagens de cada gráfico, como o rápido tempo de resposta perante a grandes variações no processo demonstrado pelos gráficos de Shewhart e a alta sensibilidade do gráfico EWMA para detecção de pequenas variações no processo. Tais diferenças demonstram que um monitoramento ideal do consumo de água poderia fazer uso de ambos os modelos consecutivamente. Existem outros modelos de gráficos de controle não abordados nesta pesquisa que, mediante estudo e análise, podem também ser incorporados ao sistema de monitoramento.

Os gráficos podem ser implementados em sistemas de telemetria, com os gráficos sendo gerados em função do intervalo de tempo de coleta de amostras (consumo horário, diário, mensal, etc.). Quanto menor for este intervalo de tempo, possivelmente menor será o tempo de resposta para a identificação e subsequente correção de problemas no sistema. Os gráficos não necessariamente precisam ser avaliados visualmente, uma vez que pode-se utilizar de um algoritmo incorporado ao sistema de medição de consumo que avalie se um ponto está sob ou fora de controle estatístico. Se um ponto fora de controle estatístico fosse detectado, o algoritmo enviaria um alerta para o gestor responsável pelo sistema, que assim poderia dar continuidade no processo de investigação do problema.

A análise de dados horários, com a precisão de leituras do sensor a cada 15 minutos, apresentou-se adequada para as vazões e perfis de consumo das agências bancárias, objetos da pesquisa. O alargamento dos limites sigma da ordem 3 para 6 sigmas apresentou maior precisão na detecção de vazamentos reais, efetivamente comprovados e sanados pela equipe de manutenção, evitando o acionamento da equipe com alarmes falsos. O indicador de consumo das agências de Joinville (81,82 litros/funcionário/dia), Criciúma (34,73 litros/funcionário/dia) e Curitiba (34,69 litros/funcionário/dia) apresentaram consumos próximos a valores citados em pesquisas em escritórios no Brasil.

As agências de Joinville (1,47 L/m²/dia) e Criciúma (1,27 L/m²/dia) apresentaram um consumo mais próximo dos estudos recentes, enquanto a agência de Curitiba (0,29 L/m²/dia) apresentou um valor relativamente baixo em comparação, no entanto, cabe ressaltar que a agência de Curitiba possui um sistema de aproveitamento de água da chuva. Não foram encontradas publicações com o indicador L/atendimento/dia. Espera-se que este indicador permita comparação entre diferentes agências que prestam atendimento para pessoas, sejam agências bancárias, postais ou demais serviços públicos, para a criação de *benchmarks* do setor. Na continuidade das pesquisas sugere-se aprofundar a análise desse indicador.

Por fim, pequenos vazamentos constantes podem não ser percebidos pelos usuários no local ou em uma análise do consumo mensal com apenas uma leitura no dia da medição pela concessionária. Assim, com o monitoramento do consumo horário é possível detectar este problema e atuar imediatamente na correção, conforme o caso da agência de Criciúma que teve a redução do consumo médio de 4,99 m³/dia para 2,48 m³/dia, após a substituição de todos os mecanismos de acionamento das válvulas de descarga, totalizando a economia estimada de 298,69 m³, até o término do período de análise.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico [423090/2021-6] e da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina—FAPESC [2023TR334].

Referências

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5626: Sistemas prediais de água fria e quente – Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro, 2020.
- BRITTON, T.; COLE, G.; STEWART, R.; WISKAR, D. Remote Diagnosis of leakage in residential households. **Water**, Austrália, v. 35, n. 6, p. 56-60, 2009.
- CLARO, F. A. E.; COSTA, A. F. B.; MACHADO, M. A. G. Gráficos de controle de EWMA e de Xbar para monitoramento de processos autocorrelacionados. **Produção**, v. 17, n. 3, p. 536-546, 2007.
- COMINOLA, A.; GIULIANI, M.; PIGA, D.; CASTELLETTI, A.; RIZZOLI, A. E. Benefits and challenges of using smart meters for advancing residential water demand modeling and management: A review, **Environmental Modelling & Software**, v. 72, p. 198-214, 2015.
- COSGROVE, W. J.; LOUCKS, D. P. Water management: Current and future challenges and research directions, **Water Resour. Res.**, v. 51, p. 4823– 4839, 2015.
- FREITAS, L. L. G.; HENNING, E.; KALBUSCH, A.; KONRATH, A. C.; WALTER, O. F. C. Analysis of water consumption in toilets employing Shewhart, EWMA, and Shewhart-EWMA combined control charts. **J. Clean. Prod.**, Brasil, v. 233, p. 1146-1157, 2019.
- HACKBARTH, FRANCISCO BARBOSA; KALBUSCH, ANDREZA; HENNING, ELISA; NASCIMENTO, MARIA IZABEL DO; BRUHN, ANA LUÍZA. Water Consumption Modeling in Office Buildings: A Case Study in Southern Brazil. **JOURNAL OF WATER RESOURCES PLANNING AND MANAGEMENT**, v. 149, p. 1-13, 2023. <https://doi.org/10.1061/JWRMD5.WRENG-5850>
- KIM, Y.; SCHMID, T.; CHARBIWALA, Z. M.; FRIEDMAN, J.; SRIVASTAVA, M. B.; NAWMS: Nonintrusive autonomous water monitoring system. In: 6 ed. ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY - ACM CONFERENCE ON EMBEDDED NETWORK SENSOR SYSTEMS, 2008, Nova York. **Anais Eletrônicos**.
- MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. 3. ed. Estados Unidos da América: John Wiley & Sons. 2003.
- MONTGOMERY, D. C. (2012). **Introduction to Statistical Quality Control**. 7. ed. Estados Unidos da América: John Wiley & Sons. 2012.
- QIU, P. **Introduction to statistical process control**. Estados Unidos da America, Universidade da Florida: Chapman and Hall/CRC. 2014. Disponível em: <https://www.routledge.com/Introduction-to-Statistical-Process-Control/Qiu/p/book/9781439847992>. Acesso em: 10 dez. 2020.

R CORE TEAM. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. Disponível em: <https://cran.r-project.org/bin/windows/>. Acesso em 07. mar. 2023.

ROBERTS, S.W. Control Charts Tests Based on Geometric Moving Averages.

Technometrics, Reino Unido, v. 42, p. 97-101, 2000. Disponível em:

https://www.jstor.org/stable/1271439?seq=1#metadata_info_tab_contents. Acesso em: 19 mai. 2019.

SCRUCCA, L. qcc: **An R package for quality control charting and statistical process control**. R News 4/1, 11-17. 2004.

SHAMSUZZAMAN, M.; KHOO, M. B. C.; HARIDY, S.; ALSYOUF, I. An optimization design of the combined Shewhart-EWMA control chart. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Londres, v. 86, p. 1627-1637, 2016.

VASCONCELLOS, Bruna T. C.; FILHO, Geraldo L. T.; BONATTO, Benedito D.; DE SOUZA JUNIOR, Oswaldo H. Applying an Exponentially Weighted Moving Average control chart using flow history and assured energy levels to small hydroelectric power plants, **Brazilian Journal of Water Resources**, Brasil, v. 25, 2020.

<https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190159>.

WAN, Xi; FARMANI, Raziye; KEEDWELL, Edward. Online leakage detection system based on EWMA-enhanced - Tukey method for water distribution systems,

Hydroinformatics, Reino Unido, v. 25, n. 1, p. 51-69, 2022.

<https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190159>.