

POTENCIAL DE REUSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE LABORATÓRIOS DE ANÁLISES QUÍMICAS. ESTUDO DE CASO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Mariana Milla Assunção de Araújo*; Nemésio Neves Batista Salvador**.

*Mestra em Engenharia Urbana, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia.

**Doutor em Hidráulica e Saneamento, Docente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente da Universidade de Araraquara.

*Autor para correspondência e-mail: evelyne.soriano@upe.br

PALAVRAS-CHAVE

Laboratórios Acadêmicos
Reuso de Águas Residuárias
Consumo de Água em um
Campus Universitário

KEYWORDS

Academic Laboratories
Wastewater Reuse
Water Consumption
on a University Campus

RESUMO

O presente estudo teve por objetivos identificar os laboratórios de análises químicas maiores consumidores de água e produtores de águas residuárias do Campus Santa Mônica da UFU, estimar os volumes de água gastos nos processos de destilação e lavagem de vidraria e avaliar a qualidade das águas residuárias desses laboratórios, em função das substâncias químicas utilizadas por eles. Foi também analisada a viabilidade de reuso dessas águas para fins urbanos não potáveis, como a irrigação de gramados, lavagens de pisos e descargas sanitárias. Os procedimentos metodológicos constaram de uma pesquisa exploratória de campo nos laboratórios, a aplicação de um questionário e um levantamento *in loco* dos volumes de água utilizados em operações de destilação de água e na lavagem de vidraria dos laboratórios. Como resultado, sob o aspecto quantitativo, constatou-se que a vazão das águas residuárias de descarte dos destiladores e da lavagem de vidraria é significativa, perfazendo 1.621,0 m³/mês ou 7,5% do consumo total de água estimado do Campus, com potencial, portanto, para viabilizar o seu reuso. Outro resultado obtido, e interessante para fins de projeto de laboratórios, foi a determinação do consumo médio per capita de água, que variou de 12,1 a 96,4 L/aluno.dia, dependendo das características de cada laboratório. Do ponto de vista qualitativo foram identificados 43 laboratórios geradores de águas residuárias, passíveis de reuso, dos quais 32 eram usuários de substâncias tóxicas ou potencialmente perigosas. Visando o reuso, recomenda-se realizar previamente uma caracterização qualitativa detalhada dessas águas, principalmente daqueles laboratórios identificados como usuários das referidas substâncias.

REUSE POTENTIAL OF WASTEWATER FROM CHEMICAL ANALYSIS LABORATORIES. CASE STUDY OF THE UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

The present study aimed to identify the laboratories of chemical analyses that are the biggest water consumers and wastewater producers at the Santa Mônica Campus of the UFU, estimate the volumes of water spent in the distillation and glasswashing processes and evaluate the quality of wastewaters of these laboratories, depending on the chemical substances used by them. The feasibility of reusing of these waters for non-potable urban purposes, such as irrigation of lawns, floor washes and sanitary discharges was also analyzed. For this, an exploratory field research, the application of a questionnaire and a survey of the water volumes used in distillation and glasswashing in the laboratories were carried out. As a result, under the quantitative aspect, it was found that the flow of wastewater from distillers and glassware washing is significant, making up 1,621.0 m³/month or 7.5% of the total estimated water consumption of the Campus, with potential, therefore, to enable its reuse. Another result obtained, and interesting for laboratory design purposes, was the determination of the average per capita water consumption, which ranged from 12.1 to 96.4 L/student day, as function of the different characteristics of each laboratory. From a qualitative point of view were identified 43 laboratories that generate wastewater, which may be reused, and 32 of them were users of toxic or potentially dangerous substances. Aiming at reuse, it is recommended to carry out in advance a detailed qualitative characterization of these wastewaters, especially of those laboratories identified as users of toxic or potentially hazardous substances.

Recebido em: 10/06/2020

Aprovação final em: 18/08/2020

DOI: <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2020.v23i3.745>

INTRODUÇÃO

A água sempre foi essencial para qualquer forma de vida, seja para sua sobrevivência ou para seu desenvolvimento. Desde os primórdios das civilizações, a água doce é e continua sendo fator imprescindível para as atividades econômicas e o desenvolvimento social.

Durante muito tempo, a problemática da água esteve relacionada apenas à escassez deste recurso em regiões áridas. Como boa parte das possibilidades de buscar novas fontes de água se esgotaram, mudou-se o cenário em questão. Busca-se agora a gestão adequada não somente da oferta do recurso, mas também da demanda de água.

É necessário um restabelecimento do equilíbrio entre a oferta e a demanda de água. Portanto, reuso de água, gestão da demanda, redução de perdas e reciclagem se tornaram, nas práticas de sustentabilidade, medidas indispensáveis a esse restabelecimento. Assim, as atividades de reuso de água expandiram-se com a possibilidade de diminuir a escassez hídrica.

O reuso de água se tornou, deste modo, uma alternativa viável para a busca por novas fontes de água. Ao longo de décadas a reutilização de águas surge como um meio importante de complementar as fontes de água e evitar a poluição de mananciais por meio das descargas de efluentes (HESPANHOL, 2002).

De acordo com a CETESB (2016), ao liberar as fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários, o uso de esgotos contribui para a conservação dos recursos e acrescenta uma dimensão econômica ao planejamento dos recursos hídricos. O reuso reduz a demanda sobre os mananciais de água, devido à substituição da água potável por uma água de qualidade inferior. Essa prática, atualmente muito discutida, posta em evidência e já utilizada em alguns países é baseada no conceito de substituição de mananciais. Tal substituição é possível em função da qualidade requerida para um uso específico.

Atualmente, a água de reuso vem sendo utilizada para diversos fins: lavagens de pisos, descargas sanitárias, agricultura, recarga de aquíferos, uso industrial entre outros. No entanto, para que as práticas de reuso sejam eficientes deve-se haver um planejamento minucioso e basear-se em padrões exigidos pelos aspectos legais (HUERTAS et al., 2008).

Segundo Mancuso e Brega Filho (2003), o reuso de água residuárias pode ser potável e não-potável. O reuso potável pode se subdividir ainda em direto e indireto, sendo que aquele ocorre quando o esgoto recuperado, por meio de tratamento, é diretamente reutilizado em um sistema de abastecimento de água potável. Já o reuso potável indireto trata-se da utilização de esgoto tratado após sua diluição em águas subterrâneas ou superficiais, após a captação e tratamento. O reuso não potável, para estes autores, integra diversas formas de utilização, como fins agrícolas, fins industriais, recreação, uso doméstico, manutenção de vazões, aquicultura, e recarga de aquíferos subterrâneos.

No contexto de potencialidade do uso da água de reuso, segundo Antoniosi (2011), pode-se destacar as Instituições de Ensino Superior. Nestas, os laboratórios possuem equipamentos grandes consumidores de água e, conseqüentemente, geradores de águas residuárias, onde podem ser verificadas as possibilidades de reuso e reciclagem. Há também uma grande ocorrência de efluentes líquidos provenientes de lavagens de vidraria, que podem ser reutilizados.

De acordo com Sassioto (2005), os laboratórios químicos de universidades apresentam o resíduo resultante da lavagem de pisos, vidraria, equipamentos, bancadas e capelas, e que pode ser considerado um resíduo perigoso, devido às substâncias químicas que o compõem.

Para Saqueto (2010), as universidades representam uma pequena parcela do total de contaminantes no meio ambiente por substâncias tóxicas. Porém, estas IES são responsáveis por avaliar os impactos ambientais causados por outras unidades geradoras de resíduos, dessa forma as universidades devem tratar os resíduos de uma maneira mais adequada para não comprometer sua credibilidade perante a

sociedade. Assim, surge uma preocupação relacionada ao destino dado aos efluentes provenientes dos processos laboratoriais de universidades.

A Resolução nº. 54, de 28 de novembro de 2005 (BRASIL, 2005), que estabelece diretrizes para reuso de águas não potáveis, considera que o reuso constitui uma prática de racionalização e conservação dos recursos hídricos, como instrumento da gestão da oferta e da demanda de água. De acordo com essa Resolução, água residuária é aquela originária de esgoto, água descartada, efluente líquido, tratados ou não. Segundo a Resolução nº. 54/2005, reuso de água é definido como a utilização de água residuária sem alteração de suas propriedades e água de reuso é a água residuária que se encontra dentro dos parâmetros de qualidade exigidos.

Este trabalho visou avaliar a quantidade e a qualidade das águas residuárias provenientes do processo de lavagem de vidraria dos laboratórios que fazem análises químicas no Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, sendo 43 laboratórios objeto de estudo mais detalhado, dos quais nove foram amostrados para a determinação das vazões de água de lavagens de vidraria, durante 27 dias de pesquisa (ARAÚJO, 2017). A avaliação da qualidade das águas, realizada estimativamente, foi a partir das substâncias químicas identificadas no questionário aplicado e com base na qualidade de água para fins urbanos não potáveis, tendo como referência os padrões de qualidade da Classe 2 da Resolução CONAMA nº. 357/2005 (BRASIL, 2005b), uma vez que os referidos usos são compatíveis com esses padrões. Já a estimativa de consumo de água foi realizada a partir de informações levantadas no questionário e por medições de vazão efetuadas *in loco*.

OBJETIVOS

O presente estudo teve por objetivos identificar os laboratórios de análises químicas maiores consumidores de água e produtores de águas residuárias do Campus Santa Mônica da UFU, estimar os volumes de água gastos nos processos de destilação e lavagem de vidraria e avaliar a qualidade das águas residuárias desses laboratórios, em função das substâncias químicas utilizadas por eles.

METODOLOGIA

Inicialmente, foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre o tema em questão, no Portal de Periódicos da CAPES, no banco de dissertações da Universidade Federal de São Carlos, na Biblioteca da UFU e na Internet, de Agosto de 2016 a Fevereiro de 2017. Posteriormente, foram realizados um levantamento qualitativo e quantitativo nos laboratórios objetos da pesquisa, sendo algumas atividades desenvolvidas em paralelo com a pesquisa bibliográfica.

O levantamento qualitativo constou da obtenção de informações sobre o abastecimento de água do Campus, através de consultas aos setores/ diretorias responsáveis da UFU, de visitas aos laboratórios e da aplicação de um questionário.

O questionário foi aplicado com os principais objetivos, dentre outros, de levantar/ identificar as substâncias químicas utilizadas nos laboratórios que podem estar presentes nas águas residuárias e de identificar os consumidores significativos de água, com base em informações dos responsáveis e entrevistados e nos equipamentos e operações que utilizam água. A partir dessas informações, os laboratórios foram classificados pelos autores em três categorias: baixo (< 20 L/d), médio (20 - 50 L/d) e alto consumidor de água (> 50 L/d).

As substâncias químicas citadas no questionário foram correlacionadas com os respectivos laboratórios e apresentadas em um quadro contendo aquelas consideradas como tóxicas ou perigosas às formas de reuso previstas e os laboratórios potenciais geradores das mesmas.

Para fins de análise e avaliação qualitativa das águas residuárias, foi considerada no presente trabalho a

Classe 2 da Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005b), com a finalidade de comparar as substâncias citadas no questionário com a relação de substâncias dos padrões de qualidade da referida classe.

Georgetti (2010) analisou amostras de efluentes provenientes de lavagens de vidraria de três laboratórios químicos da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), para estudo de viabilidade de reuso. A autora realizou ensaios ecotoxicológicos e de determinação de metais pesados, em que foram utilizados também os padrões da Classe 2 da Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005b) como referência de qualidade para os fins de reuso considerados por ela, sendo efetuadas em seu trabalho três campanhas de amostragem por laboratório estudado.

O levantamento quantitativo constou de trabalhos de campo com o objetivo de se determinar o volume ou vazão que os laboratórios consumidores significativos de água utilizam e descartam nos processos de destilação de água e de lavagem de vidraria.

A estimativa do volume descartado (purga) nos processos de destilação de água foi feita a partir de dados obtidos do questionário aplicado ou a partir de dados contidos no catálogo correspondente do destilador. O volume mensal de água descartada foi obtido através do produto da sua vazão (L/h), tempo de funcionamento diário (h), número de dias de funcionamento no mês e pela quantidade de destiladores. Com base nas observações das atividades rotineiras dos laboratórios foi estimado um tempo médio diário de funcionamento dos destiladores de oito horas.

As medições de vazão das águas de lavagem de vidraria foram realizadas pelo Método Volumétrico, a partir do registro das vazões das torneiras e do tempo médio que cada uma permanecia aberta durante a operação de lavagem, possibilitando a determinação do volume total de água utilizado por dia em cada laboratório.

Foram pesquisados aleatoriamente três laboratórios de cada uma das três categorias (alto, médio e baixo consumo), sendo que um dos laboratórios amostrados de cada categoria era de atividade de ensino. Foi também registrado o número de alunos usuários de cada laboratório nas práticas que resultaram em lavagem de vidraria, possibilitando então se determinar o consumo per capita diário de água desses laboratórios, através da média ponderada entre as vazões e o número de alunos que frequentaram os laboratórios no dia da pesquisa.

Extrapolando-se os consumos per capita assim determinados dos nove laboratórios amostrados para os laboratórios restantes, em suas respectivas categorias de consumo, puderam ser estimados então os volumes ou vazão potenciais totais diárias e mensais de água de lavagem de vidraria gerada no Campus Santa Mônica. O número de alunos dos demais laboratórios foi levantado a partir das visitas e do questionário, assim como de dados fornecidos pela DIRAC - Diretoria de Administração e Controle Acadêmico da UFU, no caso dos laboratórios de ensino.

O volume potencial total de reuso das águas residuárias dos laboratórios pesquisados foi obtido pela soma do volume das águas de lavagem de vidraria com o volume de água de destilação descartada. Para fins de comparação do volume potencial total de reuso com o consumo total de água do Campus Santa Mônica, este foi determinado com base no número de alunos, estudantes e professores fornecido pela DIRAC e na contribuição *per capita* diária de esgoto sanitário de 50,0 L, considerando o tipo de ocupação prédio/escola com ocupação temporária de longa permanência, conforme a norma NBR 7229/93 da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, que dispõe sobre o projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos (ABNT, 1993). A contribuição per capita da NBR 7229/93 foi multiplicada pelo número de alunos, professores e técnicos e o resultado dividido pelo coeficiente médio de retorno (água residuária/água consumida) de 80% (0,8), adotado conforme a ABNT (1993), obtendo-se assim o consumo total de água do Campus.

Ressalta-se que o consumo de água em laboratórios acadêmicos pode ser afetado devido a diversas

variáveis, como manipulação de torneiras, pressão, tipo de pesquisa e de aula prática, quantidade de alunos, época do ano, condições de manutenção e operacionais de equipamentos (destiladores) etc. Desta forma, os valores ou volumes determinados são estimativos, devendo ser considerados como ordem de grandeza.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Consumo de Água e Geração de Águas Residuárias nos Laboratórios e no Campus Santa Mônica

De acordo com levantamento efetuado e informações colhidas junto a DIRAC, a população do Campus é de atualmente 17.361 pessoas, considerando-se discentes, docentes, técnicos e pessoal administrativo.

Tomando-se a taxa de contribuição de esgoto sanitário per capita de 50,0 L/d recomendada pela NBR 7229/93 da ABNT (ABNT, 1993), a geração de águas residuárias para 17.361 pessoas é de 868,1 m³/d, o que corresponde a um consumo de água de 1.085,1 m³/d para o coeficiente de retorno adotado de 0,8. Considerando-se um consumo de 20 dias no mês, o consumo total de água estimado para o Campus Santa Mônica é então de 21.702,0 m³/mês.

A partir das visitas aos laboratórios e dos levantamentos e das respostas ao questionário aplicado, foram identificados 43 laboratórios consumidores e geradores significativos de águas residuárias, sendo estas, portanto, consideradas como passíveis de reuso. Esses laboratórios foram então objeto das etapas e resultados que se seguem.

AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS

A avaliação qualitativa, conforme mencionado, visou o levantamento/ identificação das substâncias químicas utilizadas nos 43 laboratórios e sua possível presença nas águas residuárias de lavagem de vidraria. Com base nas respostas do questionário foram feitos o levantamento e avaliação das substâncias utilizadas, sendo relacionadas no Quadro 1 aquelas identificadas como tóxicas ou potencialmente perigosas aos usos propostos, assim como os laboratórios em foi citada a sua presença.

Pelo Quadro 1, verifica-se que em 32 laboratórios dos 43 estudados foi identificada a presença de pelo menos uma substância perigosa. Pode-se notar, pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005b), que algumas substâncias identificadas como tóxicas apresentam uma restrição bem significativa, como é o caso, do mercúrio, cromo, chumbo, xileno, tolueno, benzeno, diclorofenol, diclorometano. Percebe-se também a presença de todos os grupos considerados como de risco aos usos pretendidos - metais pesados, orgânicos e inorgânicos tóxicos. Entretanto, as águas residuárias do processo de lavagem de vidraria, realizado após o descarte dos resíduos dos ensaios, devem apresentar baixas concentrações de poluentes, tendo em vista que as substâncias presentes são diluídas com o enxague.

Isso foi constatado no trabalho de Georgetti (2010) sobre águas de lavagem de vidraria na UFSCar, no qual foi efetuada a determinação de 21 parâmetros inorgânicos de qualidade das águas da Classe 2 da Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 20105), encontrando apenas cinco deles em desconformidade com essa Resolução, com as seguintes faixas de concentração: Arsênico (<0,01 - 0,13 mg/L), Boro (1,85 - 11,7 mg/L), Cobre (0,10 - 0,45 mg/L), Chumbo (<0,01 - 0,12 mg/L) e Zinco (<0,05 - 0,20 mg/L). Porém, destes parâmetros, somente o Boro apresentava desconformidade com os padrões de emissão de efluentes da Resolução CONAMA nº. 430/2011 (Brasil, 2011), cujo limite para esta substância é de 5,0 mg/L.

Tendo em vista as substâncias tóxicas ou perigosas identificadas neste trabalho, relacionadas no Quadro 1, deve-se, por segurança, fazer uma análise mais acurada dos constituintes e quantidades presentes nas águas residuárias, uma vez esses compostos podem ser nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, mesmo que em pequenas concentrações. Assim, recomenda-se fazer futuramente uma caracterização qualitativa detalhada, incluindo bioensaios e testes de toxicidade, previamente à implementação do reuso dessas águas.

Quadro 1 - Substâncias tóxicas/ perigosas citadas e respectivos laboratórios usuários.

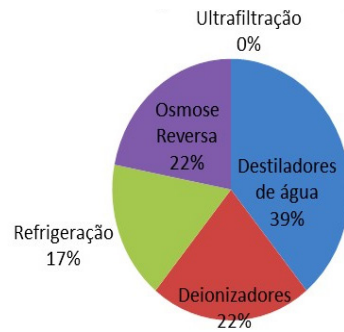
| Substância | Laboratório |
|--------------------------|--|
| Ácido crômico | ID01, ID02, ID03, ID04, FISQUI, QINOR, AINST, DIAAQ, NUPPEN |
| Cloreto de cromo | QAN |
| Ferrocianeto de potássio | PNANO, FISQUI, QAN, QINOR, AINST |
| Nitrato de chumbo | FISQUI, QINOR, AINST, LABSAN |
| Nitrato de cobalto | SING, FISQUI, QINOR, AINST, LABSAN |
| Nitrato de cromo | FISQUI, QINOR, AINST, LABSAN |
| Nitrato de mercúrio | FISQUI, QINOR, AINST, LABSAN |
| Nitrato de níquel | ESP, SING, FISQUI, QINOR, AINST, LABSAN |
| Sais de cobre | SING, FISQUI, QINOR, AINST, LABSAN |
| Sais de dicromato | ID01, ID02, ID03, ID04, ID05, ESP, QAMB, FISQUI, QINOR, AINST, DIAAQ |
| Sulfato de mercúrio | QAMB, LABSAN |
| Tiocianatos | FISQUI, QINOR, AINST |
| Dióxido de chumbo | ID01, ID02, ID03, ID04, ID05, FISQUI, QAN, QINOR, AINST |
| Óxido de antimônio | ESP |
| Óxido de arsênio III | ESP |
| Óxido de chumbo II | ID01, ID02, ID03, ID04, ESP |
| Óxido de cobre II | FISQUI, QAN, QINOR, AINST |
| Óxido de cromo III | ID01, ID02, ID03, ID04, ESP |
| Óxido de cromo VI | ESP |
| Óxido de mercúrio | ESP |
| Óxido de metil mercúrio | ESP |
| Óxido de níquel II | ESP |
| Óxido de selênio | ESP |
| Benzeno | FISQUI, QAN, QINOR, AINST |
| Diclorometano | 1Za1, 1Zb101, 1Zb102, 1Zb103, 1Zb104, 1Zb110, 1Zb111, 1Zb112 |
| Naftaleno | FISQUI, QAN, QINOR, AINST |
| Tolueno | LAFOT, ESP |
| Xileno | FISQUI, QAN, QINOR, AINST |
| Metanol | 1Zb101, 1Zb102, 1Zb103, 1Zb104, 1Zb110, 1Zb111, 1Zb112 |
| Aminofenóis | PNANO |
| Aminotiofenóis | PNANO |
| Diclorofenol indofenol | 1Za1, 1Zb101, 1Zb102, 1Zb103, 1Zb104, 1Zb110, 1Zb111, 1Zb112 |
| Fenol | ID01, ID02, ID03, ID04, ID05, ESP, FISQUI, QAN, QINOR, AINST |
| Éter metílico | ESP |
| 1,10-fenantrolina | QAMB |
| Formaldeído | ESP, FISQUI, QAN, QINOR, AINST, |
| Acetato de etila | ESP, 1K01, 1K02, 1K03, 1K04, 1K05, 1K06 |
| Dimetilformamida | NUPE |
| Acetonitrila | ID01, ID02, ID03, ID04, ID05, LAFOT, ESP, PNANO, SING, QAMB, DIAAQ, NUPE, NUPPEN, 1Za1, 1Zb101, 1Zb102, 1Zb103, 1Zb104, 1Zb110, 1Zb111, 1Zb112 |
| Clorofórmio | ESP, SING, FISQUI, QAN, QINOR, AINST |
| Brometo de etídio | PNANO |

Legenda – AINST: *Análise Instrumental*; DIAAQ: *Análises Químicas*; ESP: *Espectroscopia Aplicada*; FISQUI: *Físico-Química*; LABSAN: *Laboratório de Saneamento*; LAFOT: *Fotoquímica*; NUPE: *Núcleo de Pesquisa em Eletroanalítica*; NUPPEN: *Núcleo de Pesquisa em Produtos Naturais*; PNANO: *Filmes Poliméricos e Nanotecnologia*; QAMB: *Química Ambiental*; QAN: *Química Analítica*; QINOR: *Química Inorgânica*; SING: *Síntese Inorgânica*; 1D: *Laboratórios da Química*; 1K: *Laboratórios da Engenharia Química*; 1Za: *Laboratórios de Catálise*; 1Zb: *Laboratórios de Análise de Alimentos*.

Fonte: Autores (2018).

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA - ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOS PROCESSOS DE DESTILAÇÃO

Com base também nas visitas aos laboratórios e nas respostas ao questionário foi possível levantar o número de equipamentos que utilizam água nos laboratórios, com o seu percentual por tipo de equipamento mostrado na Figura 1.

Figura 1- Porcentagem de equipamentos que utilizam água.

Fonte: Autores (2018).

Observa-se pela Figura 1 que os destiladores, equipamentos que consomem muita água, representam um percentual significativo do total de equipamentos (39%), similar ao que foi detectado por Sassioto (2005). A água descartada (purga) dos destiladores é de ótima qualidade e deve ser reaproveitada para uso mais nobre, como por exemplo, lavagem de pisos internos, como os dos próprios laboratórios geradores.

O Quadro 2 apresenta o resultado para as vazões de água descartada durante o processo de destilação, para cada marca e modelo de destilador encontrados e para o período médio de funcionamento dos destiladores de oito horas diárias. As vazões descartadas variaram bastante, de 20 a 60 litros por litro de água destilada, dependendo do modelo do destilador, resultados estes mas compatíveis, mas superiores ao valores de 25,5 a 38,8 litros e de 28,3 a 33,1 litros encontrados respectivamente por Medeiros; Storck; Volpato (2017) e por Nascimento; Lucena; Freire (2019), em estudos sobre gestão de consumo e descarte de água de destiladores de laboratórios.

Quadro 2- Vazão de água descartada mensalmente nos processos de destilação de água.

| Marca | Modelo | Quantidade | Vazão destilada (L/h) | Vazão descartada (L/h) | Frequência de utilização | Vazão descartada (m ³ /mês) |
|--------------|-----------|------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|--|
| Fanem | 724 | 5 | 3,1 | 82,0 | Diária | 13,1 |
| Quimis | Q 341-25 | 1 | 5,0 | 200,0 | 2 por semana | 12,8 |
| Quimis | Q 341-22 | 1 | 2,0 | 120,0 | 1 por semana | 3,8 |
| Biopar | BD 10L | 1 | 8,2 | 310,0 | 3 por semana | 29,8 |
| Marte | MB 1002 | 1 | 2,5 | 50,0 | 1 por semana | 1,6 |
| Gehaka | O510L7 | 1 | 2,3 | 74,0 | Diária | 11,8 |
| Quimis | Q 341-25 | 1 | 5,0 | 200,0 | Diária | 32,0 |
| Biopar | BD 10L | 3 | 9,1 | 318,0 | 1 por semana | 30,5 |
| Biomatic | - | 1 | 1,9 | 62,0 | 2 por semana | 4,0 |
| Quimis | Q 341-210 | 1 | 10,0 | 240,0 | Mensal | 1,9 |
| Total | | 16 | 49,1 | 1656,0 | - | 121,0 |

Fonte: Autores (2018).

Notar pelo quadro que a vazão total de água descartada dos destiladores é significativa, alcançando

o valor de 121 mil litros por mês. Deste modo, a utilização de aparelhos de purificação da água como deionizadores e osmose reversa seriam uma alternativa aos destiladores, evitando o desperdício de água (ARAÚJO, 2017).

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA - ÁGUAS RESIDUÁRIAS DO PROCESSO DE LAVAGEM DE VIDRARIA

A determinação das vazões da lavagem de vidraria foi realizada *in loco*, em nove laboratórios, sendo três laboratórios para cada uma das três categorias de consumo, escolhidos aleatoriamente. Dos nove laboratórios, dois não utilizavam substâncias tóxicas ou perigosas (LAGES e PSEP).

O Quadro 3 apresenta as vazões medidas e o respectivo laboratório, a categoria de consumo dos laboratórios e o número de alunos (usuários) que frequentariam o laboratório no dia da amostragem.

Quadro 3 - Vazão das águas residuárias do processo de lavagem de vidraria por laboratório e por categoria de laboratório.

| Categoria de laboratório | Laboratório | Vazão (L/d) | Usuários presentes no dia da amostragem |
|--------------------------|-------------|-------------|---|
| Alto consumo | QAMB | 103,8 | 4 |
| | QAMB | 87,1 | 2 |
| | QAMB | 220,2 | 3 |
| | ID01 | 27,2 | 72 |
| | ID01 | 160,1 | 35 |
| | ID01 | 118,0 | 29 |
| | QAN | 54,3 | 46 |
| | QAN | 106,2 | 30 |
| Médio consumo | QAN | 20,5 | 8 |
| | 1K03 | 74,5 | 26 |
| | 1K03 | 82,2 | 21 |
| | 1K03 | * | 22 |
| | DIAAQ | 17,8 | 2 |
| | DIAAQ | 4,7 | 2 |
| | DIAAQ | 15,6 | 2 |
| | LABSAN | 31,6 | 2 |
| | LABSAN | 19 | 2 |
| LABSAN | * | 1 | |
| Baixo consumo | LAFOT | 19,3 | 5 |
| | LAFOT | 4,8 | 7 |
| | LAFOT | 8,4 | 5 |
| | LAGES | 7,2 | 7 |
| | LAGES | 5,5 | 6 |
| | LAGES | * | 7 |
| | PSEP | * | 2 |
| | PSEP | 19,8 | 3 |
| | PSEP | * | 1 |

*Medição não realizada.

Legenda – DIAAQ: Análises Químicas; LABSAN: Laboratório de Saneamento; LAFOT: Fotoquímica; LAGES: Geomorfologia e Erosão dos Solos; PSEP: Laboratório de Processo de Separação; QAMB: Química Ambiental; QAN: Química Analítica; 1; ID01: Laboratório de Química ID01; 1K03: Laboratório de Engenharia Química 1K03.

Fonte: Autores (2018).

Verifica-se em alguns casos que, dependendo do dia e das condições de trabalho, a vazão medida não foi

compatível com a da categoria de consumo prevista, como ocorreu nos laboratórios 1D01, QAN, 1K03 e DIAAQ.

A partir da Tabela 1 foram determinados os consumos per capita médio por laboratório amostrado e por categoria dos mesmos. Os consumos resultantes se encontram apresentados na Tabela 3 seguinte.

Tabela 1 - Consumo per capita de água de lavagem de vidaria por laboratório e por categoria de laboratório.

| Condições experimental | Compressão (MPa) |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1 | 32,21 |
| 2 | 26,22 |
| 3 | 20,59 |
| 4 | 17,04 |
| 5 | 26,46 |
| 6 | 27,67 |
| 7 | 33,06 |

Fonte: Autores (2018).

Legenda – DIAAQ: Análises Químicas; LABSAN: Laboratório de Saneamento; LAFOT: Fotoquímica; LAGES: Geomorfologia e Erosão dos Solos; PSEP: Laboratório de Processo de Separação; QAMB: Química Ambiental; QAN: Química Analítica; 1; 1D01: Laboratório de Química 1D01; 1K03: Laboratório de Engenharia Química 1K03.

Nota-se na Tabela 2 que o consumo per capita de água dos laboratórios do Instituto de Química é superior aos demais, tendo em vista a maior quantidade de análises realizadas nesses laboratórios e, conseqüentemente, um número maior de lavagens de vidraria.

Tabela 2 - Vazões de águas residuárias por categoria de consumo dos laboratórios pesquisados.

| Condições experimental | Densidade (g/cm³) |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 1,854 |
| 2 | 1,829 |
| 3 | 1,819 |
| 4 | 1,84 |
| 5 | 1,839 |
| 6 | 1,816 |
| 7 | 1,872 |

*Dado obtido do questionário e de informações da DIRAC/UFU.

Fonte: Autores (2018).

A Tabela 2 apresenta as vazões de águas residuárias dos 43 laboratórios pesquisados, por categoria de consumo. As vazões foram obtidas multiplicando-se os consumos médios per capita de água pelo número total de alunos usuários desses laboratórios, distribuídos em suas respectivas categorias. No caso, foi considerado que toda a água de lavagem de vidraria se converte em água residuária.

Na Tabela 2 pode ser observado que o valor encontrado para o consumo médio per capita geral foi de 49,0 L/aluno.d, sendo este valor muito próximo ao da contribuição média per capita diária de esgoto sanitário estipulada pela NBR 7229/93 (ABNT, 1993), que é 50,0 L/aluno.d. Porém, é superior ao verificado

na Universidade de Strathclyde, em Glasgow, onde o consumo médio relatado foi de 30,1 L/aluno.d (UNIVERSITY OF STRATHCLYDE, 2016).

A vazão total diária de águas residuárias do processo de lavagem de vidraria, 75,0 m³/d, foi obtida através da soma das vazões de cada categoria de consumo da Tabela 4. Considerando em média 20 dias por mês de atividade dos laboratórios, a vazão total dessas águas residuárias é de 1.500,0 m³/mês, bem superior, portanto, à vazão total descartada dos destiladores, que é de 121,0 m³/mês.

O volume total de águas residuárias, gerado nos processos de destilação (Tabela 1) e na lavagem de vidraria (Tabela 2), resulta então em 1.621,0 m³/mês, representando cerca de 7,5% do consumo total de água do Campus, estimado conforme já visto, em 21.702,0 m³/mês. A título de comparação, na Universidade de Berkeley, segundo Zhang (2010), a água consumida em seus laboratórios para todos os usos, inclusive o sanitário, respondia por 19% do consumo de água total do campus, correspondendo então as águas residuárias a aproximadamente 15% desse total, se considerado o coeficiente de retorno de 80%.

CONCLUSÕES

O reuso das águas residuárias de lavagem de vidraria dos laboratórios que realizam análises químicas no Campus Santa Mônica da UFU pode ser viabilizado, desde que essas águas não sejam misturadas com os reagentes/resíduos das análises nem com esgotos sanitários. Recomenda-se também realizar previamente uma caracterização qualitativa detalhada dessas águas, sugerindo-se a determinação dos parâmetros químicos de qualidade das águas da Classe 2 da Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005b), principalmente das águas residuárias provenientes dos laboratórios identificados como usuários de substâncias tóxicas ou potencialmente perigosas. Já as águas descartadas dos processos da destilação podem ser reusadas sem restrição, pois sua qualidade é considerada adequada aos fins pretendidos, uma vez que elas normalmente não entram em contato com substâncias químicas ou produtos tóxicos, potencialmente perigosos.

Sob o aspecto quantitativo, constatou-se que vazão de das águas residuárias provenientes da lavagem de vidraria e de descarte dos destiladores é significativa, correspondendo a 1.621,0 m³/mês, ou 7,5% do consumo total de água estimado do Campus, com potencial para viabilizar o seu reuso, mediante estudos técnico e econômico-financeiro prévios.

Em relação aos equipamentos de uso específico de água, nota-se que os destiladores, maiores consumidores de água, representam 39% do total de equipamentos levantados e, deste modo, é recomendada a substituição deles por aparelhos que tem a mesma função e utilizam relativamente menos água, como os deionizadores e osmose reversa.

Um dado relevante, determinado neste trabalho, é consumo per capita de água nos laboratórios estudados, que variou de 12,1 a 96,4 L/aluno.dia, em função das diversas categorias ou tipologias desses laboratórios (vide Tabela 1), ressaltando-se o maior consumo para os de Química. Tais dados podem subsidiar futuros projetos de reservatórios e instalações hidráulicas de laboratórios de instituições de ensino superior.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos - NBR 7229**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ANTONIOSI, P. M. P. B. **Estudo de oportunidades de reuso de águas residuárias em campi universitários: estudo de caso da Universidade Federal de São Carlos (Dissertação de Mestrado)**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011. 143p.

ARAÚJO, M. M. A. **Estudo do potencial de reuso de águas residuárias de laboratórios de análises químicas em instituições de ensino superior** (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. 166p.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). **Resolução nº. 54, de 28 de novembro de 2005**: estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=14>. Acesso em: 24 de agosto de 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005b**: dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?codlegitipo=3&ano=2005>>. Acesso em: 03 de novembro de 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº. 430, de 13 de maio de 2011**: dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 24 de julho de 2020.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Reuso de água**. São Paulo: CETESB, 2016. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/informacoes-basicas/8-2/reuso-de-agua/>>. Acesso em: 24 agosto de 2017.

GEORGETTI, M. S. **Avaliação química e ecotoxicológica de efluentes químicos, visando seu reuso**. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010. 190p.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v.7, n.4, p.75-95, Out./Dez. 2002.

HUERTAS, E. *et al.* Key objectives for water reuse concepts. **Science Direct**, Barcelona, v. 218, p. 120-131, 2008.

MANCUSO, P.C.S.; BREGA FILHO, D. **Conceito de reuso de água**. In: MANCUSO, P.C.S., SANTOS, H.F. (Eds.). **Reuso de Água**. São Paulo: Editora Manole, 2003. p. 21-36.

MEDEIROS, R. C.; STORCK, W. R.; VOLPATTO, F. Gestão da água de descarte de destiladores de água em Laboratórios de uma IES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 8., 2017 Campo Grande. **Anais...**Mato Grosso do Sul: IBEAS, 2017. p.1-4.

NASCIMENTO, F. G. R.; LUCENA C. M. L.; FREIRE, L. L. Reuso em laboratórios de análises ambientais: desperdícios e custos da água residual de destiladores. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 8, n. 2, p. 578-594, Abr./Jun. 2019.

SAQUETO, K. C. **Estudo dos resíduos perigosos do campus de Araras da Universidade Federal de São Carlos visando a sua gestão** (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010. 168p.

SASSIOTO, M. L. P. **Manejo de resíduos de laboratórios químicos em Universidades**: estudo de caso do departamento de Química da UFSCar (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005. 223p.

UNIVERSITY OF STRATHCLYDE. **Sustainable laboratory good practice guide**. Glasgow: University of Strathclyde, 2016. Disponível em: <https://www.strath.ac.uk/media/ps/estatesmanagement/sustainability/labs/S-Labs-Good_Practice_Guide_120917.pdf>. Acesso em: 27 de julho de 2020.

ZHANG, J. **UC Berkeley water usage & conservation study report**. Berkeley: University of California, 2010. Disponível em: <https://sustainability.berkeley.edu/sites/default/files/UC_BERKELEY_WATER_CONSERVATION_REPORT_CACS_2010.pdf>. Acesso em: 27 de julho de 2020.