



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL (RECURSOS
HIDRICOS)

THALES HENRIQUE SILVA COSTA

AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DE ÁGUAS CINZA PARA USO EM UM
CONDOMÍNIO RESIDENCIAL

FORTALEZA

2020

THALES HENRIQUE SILVA COSTA

AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DE ÁGUAS CINZA PARA USO EM UM
CONDOMÍNIO RESIDENCIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil (Recursos Hídricos). Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C876a Costa, Thales Henrique Silva.
Avaliação quali-quantitativa de águas cinza para uso em um condomínio residencial / Thales Henrique Silva Costa. – 2020.
82 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota.

1. Reúso da água. I. Título.

CDD 628

THALES HENRIQUE SILVA COSTA

AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DE ÁGUAS CINZA PARA USO EM UM
CONDOMÍNIO RESIDENCIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil (Recursos Hídricos). Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Aprovada em: 05/06/2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Adeildo Cabral Silva
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Ceará (IFCE)

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de estudos que possibilitou a dedicação ao programa de pós graduação e a operacionalização da pesquisa científica.

Ao Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota, pelas orientações e paciência durante o desenvolver da pesquisa.

Aos professores participantes da banca examinadora pelo apoio e correções.

Ao Sr. Paulo Ricardo, supervisor da estação de tratamento por todo o suporte durante as coletas.

À Amanda Barros, técnica do laboratório de saneamento, por todo o suporte e ensinamentos durante os experimentos em laboratório.

Ao professor Dr. Fernando José Araújo da Silva pelo nível das discussões oferecidas em nosso convívio.

Aos professores do programa de Pós Graduação em Engenharia Civil pelo suporte e ensinamentos oferecidos durante a realização do curso de mestrado.

RESUMO

A caracterização quali-quantitativa de efluentes para uso domiciliar é fundamental para a elaboração adequada de projetos de reúso. Com o crescimento populacional e a ampliação das regiões áridas, é necessário buscar formas de reduzir o consumo de água potável. Dentre as soluções encontra-se o reúso de água para fins menos nobres, como rega de jardins e descargas em vasos sanitários. O tratamento e armazenamento de volumes adequados para as demandas desses usos é essencial, uma vez que torna o sistema mais atrativo, reduzindo os custos envolvidos. Este trabalho caracterizou o efluente proveniente dos lavatórios e do banho de 544 apartamentos de um condomínio considerado de alto padrão localizado na cidade de Fortaleza, Ceará. No trabalho foram propostos limites para diversos parâmetros de qualidade a serem observados na utilização de águas cinza. A quantificação foi realizada usando um sensor de distância instalado dentro dos reservatórios, capaz de fornecer o volume instantâneo. A partir dos volumes e população residente foi possível determinar os volumes consumidos na irrigação e descarga, além dos consumos *per capita* de águas cinza. O sistema de tratamento, composto de processos físicos e químicos, é capaz de reduzir significativamente os parâmetros físicos, químicos e biológicos, garantindo o atendimento à legislação. O efluente bruto possui como características básicas uma turbidez de 15,8 UC, teor de sólidos em suspensão de 223 mg/L, pH levemente ácido e 5 unidades logaritmos de coliformes termotolerantes. Após tratamento, o efluente reduziu em 87,26 % a turbidez e quase 75 % os sólidos suspensos totais. O consumo médio *per capita* de águas cinza determinado foi separado de acordo com os usos, sendo 25,3 Lpcd para as descargas e 13,05 Lpcd para irrigação. Com estes valores, foram determinados volumes ótimos de armazenamento até 10 vezes inferiores aos executados. Também foram apresentados critérios apropriados para cálculo das vazões dos sistemas de tratamento e dos volumes de reservação ideais. As características do efluente em estudo divergem dos obtidos por outros autores, mostrando que as condições ambientais locais e os hábitos da população inferem nos resultados. O efluente tratado conseguiu atender à maioria dos parâmetros menos restritivos propostos, com exceção dos sólidos suspensos totais.

Palavras-chave: Reúso de água. Características de águas cinza. Consumo de águas cinza. Reservação de águas cinza.

ABSTRACT

The qualitative and quantitative analysis of effluents for home use is essential for the proper elaboration of reuse projects. With population growth and the expansion of arid regions, it is necessary to look for ways to reduce the consumption of drinking water. Among the solutions is the reuse of water for non-potable domestic uses, such as watering gardens and flushing toilets. The treatment and storage of adequate volumes for the demands of these uses is essential, since it makes the system more attractive, reducing the costs involved. This work characterized the effluent from the washbasins and baths of 544 apartments in a residential building considered being of a lofty standard in the city of Fortaleza, Ceará. In the work, it proposed Limits for several quality parameters for greywater. Using a distance sensor installed inside the reservoirs, capable of providing the instantaneous volume, it was possible to quantify the greywater consumptions. Based on the volumes and resident population, it was possible to determine the volumes consumed in irrigation and discharge, besides the per capita consumption of greywater. The treatment system, composed of physical and chemical processes, can significantly reduce the physical, chemical, and biological parameters, ensuring compliance with the legislation. The basic characteristics of the untreated greywater are turbidity of 15.8 UC, a content of suspended solids of 223 mg / L, slightly acidic pH, and 5 logarithmic units of thermotolerant coliforms. After treatment, the effluent reduced turbidity by 87.26% and almost 75% of the total suspended solids. It separated the average per capita consumption of greywater determined according to usage, with 25.3 Lpcd for discharges and 13.05 Lpcd for irrigation. With these values, it was possible to determine optimal storage volumes up to 10 times lower than those performed. It also presented appropriate criteria were also for calculating the flow rates of the treatment systems and the ideal reservoir volumes. The characteristics of the effluent under study differ from those got by other authors, showing that the local environmental conditions and the habits of the population influence the results. The treated effluent could meet most of the less restrictive parameters proposed, except for total suspended solids.

Keywords: Water reuse. Characteristics of greywater. Daily greywater demand. Stored greywater.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1 | – Visão geral do empreendimento, com indicação das torres em estudo | 37 |
| Figura 2 | – Fluxograma de vazões | 38 |
| Figura 3 | – Equipamentos utilizados para medição de volume nos reservatórios | 44 |
| Figura 4 | – Instalação do sistema eletrônico para medição | 45 |
| Figura 5 | – Análise de atendimento aos limites propostos para parâmetros físicos. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE..... | 59 |
| Figura 6 | – Análise de atendimento aos limites propostos para parâmetros químicos. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE | 60 |
| Figura 7 | – Análise de atendimento aos limites propostos para coliformes termotolerantes. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE | 61 |
| Figura 8 | – Consumo médio diário por apartamento, em litros por dia. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE | 62 |
| Figura 9 | – Número de apartamentos ocupados, por torre. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE | 62 |
| Figura 10 | – Consumo per capita por torre e consumo médio. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE | 63 |
| Figura 11 | – Variação horária dos reservatórios R1 e R2. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE | 64 |
| Figura 12 | – Variação horária do reservatório R3 e volumes de recalque para R1 e R2. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE | 65 |
| Figura 13 | – Consumo médio acumulado na rega dos jardins. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE | 66 |
| Figura 14 | – Variação de volume (dV) diário acumulado. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE | 67 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabela 1 | – Caracterização de águas cinzas não tratadas | 24 |
| Tabela 2 | – Critérios nacionais de qualidade para reúso urbano irrestrito | 29 |
| Tabela 3 | – Critérios internacionais de qualidade para reúso urbano irrestrito | 30 |
| Tabela 4 | – Estimativa de consumo diário de água | 31 |
| Tabela 5 | – Participação dos pontos de utilização no consumo médio diário na zona sul de São Paulo | 32 |
| Tabela 6 | – Parametrização dos consumos de água em edificações domiciliares | 32 |
| Tabela 7 | – Consumos per capita em residências americanas, 1999 e 2016 | 33 |
| Tabela 8 | – Frequências e volumes por uso de aparelhos sanitários em Sparanise, Espanha | 35 |
| Tabela 9 | – Valores de referência para produção e demanda de sistemas de reúso de águas cinzas na Grã-Bretanha | 35 |
| Tabela 10 | – Localização dos reservatórios de acumulação de águas cinzas | 37 |
| Tabela 11 | – Diretrizes do PROSAB para usos urbanos de esgotos sanitários | 47 |
| Tabela 12 | – Valores médios de DQO e DBO e respectivos desvios padrões (entre parênteses) e relações DQO/QBO, por fonte de coleta | 48 |
| Tabela 13 | – Valores de referência propostos para utilização de águas cinza | 51 |
| Tabela 14 | – Características físicas das águas cinza sem tratamento. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE | 52 |
| Tabela 15 | – Características químicas das águas cinza sem tratamento. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE | 53 |
| Tabela 16 | – Características microbiológicas das águas cinza sem tratamento. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE | 55 |
| Tabela 17 | – Características das águas cinzas tratadas. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE | 56 |
| Tabela 18 | – Valores médios para águas cinza bruta e tratada, com suas respectivas variações pós tratamento. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE | 58 |
| Tabela 19 | – Participação dos pontos de utilização no consumo médio diário – valor teórico | 63 |

| | |
|--|----|
| Tabela 20 – Consumos no acionamento de aparelhos sanitários. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE | 65 |
| Tabela 21 – Volumes requeridos para os reservatórios R1 e R2 para a população atual e máxima, em m ³ . Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE | 68 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------------------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AWWA | American Water Works Association |
| CE | Condutividade elétrica |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo |
| CNRH | Conselho Nacional de Recursos Hídricos |
| CTT | Coliformes termotolerantes |
| CV | Coefficiente de variação |
| DBO | Demanda bioquímica de oxigênio |
| DEHA | Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC |
| DQO | Demanda química de oxigênio |
| DQOf | Demanda química de oxigênio, amostra filtrada |
| DV | Desvio padrão amostral |
| E. Coli | Escherichia coli |
| EPA | U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY |
| ETAC | Estação de tratamento de águas cinza |
| Lpcd | Litros <i>per capita</i> por dia |
| Máx | Máximo |
| MBR | biorreatores de membranas |
| Mín | Mínimo |
| N-NH ₃ | Nitrogênio amoniacal |
| n | Número de amostras |
| ND | Não detectável |
| OD | Oxigênio dissolvido |
| pH | Potencial Hidrogeniônico |
| PNCDA | Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água |
| ppm | Partes por milhão |
| OP | Ortofosfato solúvel |
| PROSAB | Programa de Pesquisa em Saneamento Básico Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas |
| PURAE | Edificações |
| RD | Decreto real |

| | |
|-----|-------------------------------------|
| SDT | Sólidos dissolvidos totais |
| SS | Sólidos sedimentáveis |
| SST | Sólidos suspensos totais |
| ST | Sólidos totais |
| T | Temperatura |
| TOG | Teor de óleos e graxas |
| UC | Unidades de cor |
| UE | União Europeia |
| UFC | Universidade Federal do Ceará |
| UNT | Unidades nefelométricas de turbidez |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 | REFERÊNCIAL TEÓRICO | 15 |
| 2.1 | Águas cinza | 15 |
| 2.2 | Definição do sistema de tratamento | 17 |
| 2.3 | Caracterização das águas cinza | 21 |
| 2.4 | Legislação | 25 |
| 2.5 | Produção e consumo de águas cinza | 31 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 36 |
| 3.1 | Área de Estudo | 36 |
| 3.1.1 | <i>Estação de Tratamento de Águas Cinza (ETAC)</i> | 37 |
| 3.2 | Proposição de legislação para uso de águas cinza | 38 |
| 3.3 | Caracterização qualitativa das águas cinza | 39 |
| 3.4 | Eficiência do sistema de tratamento | 41 |
| 3.5 | Caracterização quantitativa da demanda de águas cinza em edificações residenciais | 41 |
| 3.6 | Determinação da redução do consumo de água | 45 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 46 |
| 4.1 | Proposta de parâmetros limites para utilização de águas cinzas | 46 |
| 4.2 | Análise qualitativa das águas cinza sem tratamento | 51 |
| 4.2.1 | <i>Características físicas</i> | 51 |
| 4.2.2 | <i>Características químicas</i> | 53 |
| 4.2.3 | <i>Características microbiológicas</i> | 55 |
| 4.3 | Análise qualitativa das águas cinza tratadas | 56 |
| 4.4 | Eficiência do sistema de tratamento e atendimento aos parâmetros propostos para uso de águas cinza | 58 |
| 4.5 | Análise quantitativa | 61 |
| 5 | CONCLUSÕES | 69 |
| | REFERÊNCIAS | 72 |
| | APÊNDICE A – PLANILHA PARA MONITORAMENTO IN LOCO | 79 |
| | APÊNDICE B – CÓDIGO FONTE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO | 80 |
| | ANEXO A – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE TRATAMENTO | 82 |

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que no início desta década 27% (1,9 bi) da população mundial vivia em regiões com potencial de escassez de água e que este valor deve aumentar para até 3,7 bilhões de pessoas em 2050, sendo o semiárido nordestino um dos pontos a sofrer reduções nos níveis de água nesse período (UNITED NATIONS, 2018).

No nordeste brasileiro, os desenvolvimentos urbano, industrial e agrícola são limitados pela disponibilidade hídrica, onde há a busca por novas fontes de recursos para complementar as necessidades regionais. Até em regiões com recursos hídricos abundantes, há problemas, pois são insuficientes para atender demandas elevadas. Dentre os estados afetados pela seca está o Ceará, onde, apesar da construção de obras para acumulação de águas no período chuvoso, é comum a necessidade de racionamento por parte da população.

A busca por fontes alternativas de abastecimento se dá geralmente devido ao surgimento de períodos críticos de abastecimento, tais como o registrado na Espanha (DOMÈNECH et al., 2015). O autor cita oito alertas emitidos pelo governo entre os anos de 2001 e 2010, ilustrando o déficit hídrico na região. Na China (LYU et al., 2016), incentivaram o reúso de águas cinzas devido ao crescimento populacional, e consequente aumento da demanda por água potável, historicamente limitada na região.

Adiciona-se como agravante eventual as mudanças climáticas, que ampliam o número de áreas com problemas de abastecimento, como os estados ao sul dos Estados Unidos e Europa, o Norte da África, além do Oriente Médio e Austrália (PINTILIE et al., 2016).

Enfrentando o desafio global de situações de escassez de água, muitos países e organizações aumentaram sua conscientização sobre os riscos de falta de água e propuseram políticas eficazes para reduzir seu uso. Águas cinza têm um alto potencial de utilização, de modo a fornecer quantidades suficientes de água para diversos usos. No entanto, suas utilizações ainda são limitadas (JUAN; CHEN; LIN, 2016).

A preocupação com o uso da água sempre foi mais evidente em regiões áridas e semiáridas, como o nordeste brasileiro, onde o déficit hídrico histórico sempre foi motivo de transtorno. Logo, sempre tiveram maior preocupação com o desperdício de águas potáveis, buscando soluções para reúso, tais como o aproveitamento da água da máquina de lavar para a lavagem de pisos e/ou irrigação de jardins.

Embora o reúso d'água datar da Era do Bronze (3200 – 1100 AC), quando determinadas civilizações usavam águas provenientes do esgoto doméstico para irrigação e

a aquicultura, foi apenas no fim do século 19 e início do século 20 que o homem criou uma nova visão do reúso de água, já que o crescimento populacional, o desenvolvimento de metrópoles, as mudanças climáticas e o rápido desenvolvimento da tecnologia geraram evidências de que o reúso das águas terá papel fundamental no futuro, sobretudo ao imaginar que a população mundial continuará crescendo (ANGELAKIS et al., 2018). Já a separação das águas negras das águas cinzas é algo mais recente, se popularizando apenas nos últimos 30 anos, junto com a aplicação dessas águas em usos urbanos (MAIMON; GROSS, 2018).

Observa-se que o reúso de águas residuárias permanece como uma fonte pouco explorada, em face da disponibilidade de água potável e sua poluição, apesar do Fórum Econômico Mundial listar a crise hídrica como o impacto global de risco mais devastador para a sociedade, e pesquisas comprovarem que águas de reúso satisfazem a diferentes necessidades: irrigação, propósitos industriais e demandas domésticas (ROCCARO; VERLICCHI, 2018).

Em geral, a escassez de recursos hídricos, o uso eficiente dos recursos disponíveis e a redução da poluição ambiental com melhorias na saúde pública são as principais motivações para pesquisas e adoções de sistemas de reúso de águas (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA, 2012).

Regiões com estresse hídrico são potenciais candidatos a sistemas de reúso de água. Israel, Malta e Singapura são considerados os maiores consumidores de águas de reúso, com taxas de 80%, 40% e 33%, respectivamente (ZHU et al., 2018). Em Israel, mais de 85% das águas residuárias tratadas são usadas para irrigação de culturas (IWA, 2012).

Durante as últimas duas décadas, o uso agrícola de água doce, em Israel, diminuiu em 25 milhões de m³ por ano, enquanto a irrigação usando águas residuárias tratadas aumentou 17 milhões de m³ por ano, implicando numa relação águas residuárias tratadas/água doce de 0,67 (REZNIK et al., 2017).

As características das águas cinza variam de acordo com sua origem, sendo recomendada a utilização prioritária daquelas com menor teor de contaminantes. Considerando águas cinza provenientes de mesma fonte, sua utilização na irrigação de culturas é mais arriscada que seu uso em descarga de vasos sanitários, além da adição das águas provenientes da cozinha aumentarem este risco, principalmente na irrigação (SHI; WANG; JIANG, 2018).

Deve ser possível criar uma relação entre o consumo de água residencial com o seu potencial para geração de águas cinza e sua utilização no ambiente doméstico, seja em descargas de vasos sanitários, limpeza de pisos e rega de jardins. Com base no consumo de

água potável do empreendimento, é possível prever o volume de águas cinza geradas e consumidas, reduzindo os custos com água potável.

A otimização desses processos é importante, inclusive, pela questão da permanência dos efluentes em reservatórios. Pesquisa realizada por Dixon et al. (2000) mostra que efluentes armazenados por 24 horas tendem a melhorar sua qualidade devido a sedimentação de partículas orgânicas. Entretanto, ao armazená-los por mais de 48 h, percebe-se um crescimento da demanda por oxigênio e surgimento de problemas estéticos – vitais para a aceitação do sistema de reúso pela população, podendo gerar mais prejuízos que benefícios em sua utilização. Portanto, a definição do volume correto de armazenamento é fundamental para o sucesso de projetos de reúso.

A definição do método de tratamento e a escala do projeto de reúso devem ser compatíveis com as características locais, como os hábitos dos usuários, condições do ambiente e nível social. Pode-se, assim, otimizar os projetos de reúso a partir do momento que se têm informações suficientes, gerando, assim, menores custos de implantação e manutenção, criando um ambiente mais competitivo.

Este trabalho teve como objetivo, em um condomínio residencial, obter informações sobre a qualidade das águas cinza, fazer uma previsão de volumes gerados, determinar os consumos em descargas e irrigação de jardins, bem como definir os volumes ótimos para os reservatórios de acumulação dessas águas de reúso.

Os dados obtidos neste trabalho podem contribuir para a determinação de parâmetros para projetos de aproveitamento de águas cinzas em habitações multifamiliares.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar uma caracterização quali-quantitativa das águas cinza em um condomínio vertical residencial, de modo a determinar parâmetros para projetos de aproveitamento desses efluentes.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a composição das águas cinza de uma edificação multifamiliar.

- Avaliar a eficiência do tratamento de águas cinza utilizado na edificação em estudo.
- Estimar os volumes de águas cinza produzidas na edificação.
- Determinar os consumos de águas cinza nas descargas e na irrigação de jardins.
- Avaliar a redução do consumo de água na edificação como consequência do aproveitamento das águas cinza na descarga de vasos sanitários e rega de jardins.
- Definir volumes ótimos para os reservatórios de acumulação de águas de reúso.
- Propor limites para diversos parâmetros a serem observados na utilização de águas cinza.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Águas cinza

Define-se como águas cinza as águas provenientes dos chuveiros, lavatórios, tanques e máquinas de lavar roupa, excluindo-se as águas provenientes do vaso sanitário (FIORI; FERNANDS; PIZZO, 2006; MOURAD; BERNDTSSON; BERNDTSSON, 2011) e, também, da pia da cozinha (ANGELAKIS et al., 2018; DYT, 2019).

Reconhecer as águas cinza como uma fonte secundária relevante de água e nutrientes representa uma importante forma de manejo sustentável dos recursos hídricos (BOANO et al., 2020).

Huscroft e Rumsey (2016) alertam para os desafios a serem superados no uso de águas cinza. Esses autores concluem que, ao se criar uma política que incentive a utilização de águas cinza, como por meio de incentivos fiscais que paguem uma parcela das instalações de tratamento ou proporcionem um desconto com base na redução do uso da água potável, a adoção de sistemas de reúso domiciliar seria aumentada.

A utilização de águas cinza em usos menos nobres é positiva, uma vez que reduz os picos de vazão no sistema coletor, principalmente nos picos da manhã e da noite, havendo pouca variação ao longo do dia. Essa configuração pode reduzir o diâmetro de tubulações, já que é esperada uma redução nos volumes, profundidades e velocidades do efluente durante o transporte. Entretanto, com o aumento da penetração dos sistemas, é esperado um aumento na concentração de poluentes, principalmente se os sistemas de reúso vierem juntos com a instalação de sistemas redutores de vazão/pressão nos banheiros (PENN; SCHÜTZE; FRIEDLER, 2013).

As águas de reúso podem ser desmembradas em águas de reúso restrito e irrestrito, sendo aplicadas no reúso urbano e industrial, na agricultura, na recarga de aquíferos e para usos ambientais, além do reúso potável (menos provável). Em geral, a EPA (2012) prevê seu uso para fins não potáveis, com acesso restrito ou não à população em geral. Essa restrição se deve à garantia de saúde da população, evitando seu contato desnecessário com águas potencialmente danosas à saúde. Para que seja considerada de uso irrestrito o efluente deve possuir características tais que garantam ausência de microrganismos patogênicos e outras substâncias degradadoras da saúde humana. Nesses casos, o contato com o corpo deve ser limitado, devendo o local ter acesso restrito, possuir barreiras e alertas ou permitir apenas acesso temporário de pessoal autorizado. Já nos usos irrestritos, são efluentes de melhor

qualidade, apesar de não potáveis, permitindo, assim, o contato da população com essas águas, por exemplo, em espaços recreativos.

Mizyed (2013) apresenta obstáculos econômicos e sociais para a implantação de sistemas de reúso de água em regiões áridas e semiáridas, como informações inadequadas sobre o reúso, elevados custos para a coleta e tratamento, incompatibilidade entre os preços das águas potável e de reúso, e a preferência por água potável por parte dos usuários. Pequim anunciou, em 2001, que comunidades recém construídas e centralizadas que atendessem a determinados requisitos, tais como área superior a 50.000 m², deviam construir instalações de águas de reúso em paralelo à distribuição de água potável, porém não mais de 20% das instalações são usadas com sucesso devido à falta de competitividade com o preço da água potável, por sua baixa qualidade e/ou pelo fraco sistema de supervisão (ZHU et al., 2018). Maimon e Gross (2018) afirmam que os desafios para o desenvolvimento desses sistemas estão divididos entre riscos à saúde, como a presença de microrganismos patogênicos, e riscos ambientais, pela presença de poluentes como sódio e surfactantes, além de faixas inadequadas de pH.

Pesquisa realizada com 256 participantes, em Israel, demonstrou que há elevada aceitação de águas de reúso no paisagismo (95%), na descarga de vasos sanitários (85%) e no combate a incêndios (96%), entretanto, para usos mais nobres os níveis de aceitação reduzem, como na recarga de aquíferos (11%) e lavagem de roupas (38%) (FRIEDLER et al., 2006).

Angelakis et al. (2018) alertam que é necessário um desenvolvimento de políticas, critérios e regulações que visem a proteção à saúde e ao meio ambiente mais compreensivos, flexíveis e eficientes, tendo em mente as diferenças culturais e econômicas entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Sugere-se uma abordagem passo a passo, onde melhorar a situação de risco atual é melhor do que adotar legislações inexecutáveis. Paranychianakis et al. (2015) apresentam como limitação ao crescimento do reúso de águas na União Europeia (EU) a falta de regulação única, onde as regulações existentes não foram desenvolvidas seguindo os princípios transversais da UE, além das preocupações econômicas, principalmente relacionadas à produção agrícola, à falta de diálogo, e à ausência de estudos aprofundados relacionados aos custos de tratamento e reutilização de águas residuais.

A China elaborou regulações específicas para o reúso de águas a depender da aplicação – reúso ambiental, reúso em atividades urbanas diversas (descargas sanitárias, combate a incêndio, lavagem de veículos, dentre outros) e reúso na agricultura. As

concentrações de poluentes variam a depender da aplicação, sendo mais conservador quanto maior o risco de contato com o usuário, conforme apresentado por Lyu et al. (2016). Em seu trabalho estão organizadas as classes de uso adotadas pelo governo chinês com suas respectivas concentrações máximas, tornando, assim, mais fácil a adoção de tratamentos adequados à qualidade requerida, gerando redução de custos e possibilitando a ampliação dos investimentos em sistemas de reúso.

Os usos residenciais mais comuns para as águas cinza são a descarga em vasos sanitários e irrigação de jardins, podendo estender-se para a limpeza de pisos e lavagem de veículos. No ambiente residencial se faz necessária uma separação física entre as tubulações de água potável e cinza, de forma a evitar cruzamentos indevidos que possam prejudicar a qualidade da água potável, gerando problemas sanitários. Assim, faz-se necessária a instalação de um reservatório próprio para armazenamento de águas cinza, de forma a garantir o atendimento à demanda diária proveniente dos usos previstos.

2.2 Definição do sistema de tratamento

A definição do sistema de tratamento de efluentes mais adequado depende de determinadas condições, bem definidas por Salgot e Folch (2018):

- a) Características da água residuária: dependem da origem do efluente – urbano, industrial, agricultura, e do tipo de tratamento dado ao esgoto na origem.
- b) Quantidade de água a ser tratada: depende do uso dado a água, da economia local, das políticas públicas, etc.
- c) Leis e regulamentos locais: deve-se atender a legislações específicas de cada região, as quais podem ter requisitos específicos.
- d) Tecnologias de tratamento disponíveis: depende das capacidades tecnológica e econômica locais.
- e) Economia local: capacidade de operação e manutenção adequadas do sistema. A capacidade financeira deve ser levada em consideração na escolha do tratamento, apesar de, teoricamente, todo o custo do processo ser incluído no preço da água – por diversos motivos pode não ser possível tal repasse.
- f) Aceitação local: varia em função das características das instalações e do grau de educação da população.
- g) Qualidade do efluente: depende do uso previsto para as águas de reúso e das diretrizes locais que definem legalmente os tipos de tratamento aceitos.

- h) Manejo de nutrientes: caso seja necessário a disposição dos efluentes em áreas sensíveis a elevadas concentrações de nutrientes, deve ser requerido tratamento específico.
- i) Possibilidades de reúso: a qualidade final da água de reúso é fixada pela legislação. A quantidade de recursos disponíveis rege o sucesso do sistema.
- j) Disponibilidade de área: tecnologias que demandem elevada área não devem ser adotadas onde o custo do terreno é elevado.
- k) Geração de resíduos: deve-se levar em consideração a quantidade de resíduos gerados no processo.

Hábitos locais são importantes para definir o potencial dos sistemas de reúso doméstico. Conforme Zhu et al. (2018), os hábitos da população asiática geram em torno de 20% de águas residuais provenientes da cozinha contra 8% dos países europeus. Isso é devido ao maior consumo de refeições quentes (usualmente três vezes ao dia), em contraste com apenas uma refeição deste tipo na Europa, muitas vezes servida fora do ambiente doméstico. Estima-se que, caso as águas provenientes da cozinha sejam incorporadas aos sistemas de reúso na China, haveria um incremento de 67% no volume de água de reúso doméstico. Entretanto, essa prática não é recomendada devido às elevadas concentrações de DBO e E. coli - 79,1 mg/L e $1,6 \times 10^5$ NMP/100mL, respectivamente, contra 29,5 mg/L e $2,3 \times 10^3$ NMP/100 mL de águas cinzas sem a presença de efluentes da cozinha (MAIMON; FRIEDLER; GROSS, 2014). Apesar de não ser previsto a presença de E. coli em efluentes da cozinha, por não possuir elevada contaminação fecal, é previsível um aumento significativo devido à elevada disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica (MAIMON; FRIEDLER; GROSS, 2014).

Para o dimensionamento adequado dos sistemas de reúso de águas cinzas é necessário ter informações relativas aos volumes gerados e consumidos, assim como as características do efluente, de forma a determinar o melhor sistema de tratamento, a área requerida para sua instalação, os possíveis usos destinados às águas de reúso, o dimensionamento das tubulações e, por fim, a relação custo benefício do sistema. Como descrito por Eriksson et al. (2009), os hábitos da população podem gerar discrepâncias entre essas informações, tornando relevante a necessidade de estudos locais e regionais para determinar hábitos e consumos locais, gerando, assim, sistemas otimizados e eficientes.

Fiori, Fernandes e Pizzo (2006) mostram eventuais discrepâncias entre os volumes de água consumida em residências, quando comparados com os volumes sugeridos pela American Water Works Association (AWWA) – dados relativos ao consumo de água

em domicílios americanos; e o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), no Brasil – dados relativos a um apartamento situado em conjunto habitacional de baixa renda. Os consumos de água, segundo essa pesquisa, são semelhantes nas pias da cozinha, nos lavatórios e nas máquinas de lavar, entretanto, há maior diferença nos consumos dos chuveiros.

Notam-se discrepâncias, por exemplo, entre os padrões de consumo entre países – 55% da água consumida no Brasil é proveniente do chuveiro, contra 17,8% nos EUA. Atestando a variação regional, esse consumo considerado pelo PNCDA se reduz para algo entre 30 e 35% na cidade de Passo Fundo/RS (FIORI; FERNANDES; PIZZO, 2006).

Estima-se que uma residência com 5 ocupantes na Austrália consome aproximadamente 708 litros por dia para usos internos (excluindo rega de jardins, por exemplo), sendo que em torno de 17% desse volume é utilizado na descarga de vasos sanitários e 28,5% no banho, com 1,1% no chuveiro e 27,4% na banheira (MUTHUKUMARAN; BASKARAN; SEXTON, 2011).

Pesquisa realizada em Sweida, Síria, apresenta consumos no banho e na descarga de vasos sanitários de 14% e 36%, respectivamente, indo na contramão dos dados anteriores, que teriam maior geração de águas cinzas provenientes do banho do que consumo nos vasos sanitários (MOURAD; BERNDTSSON; BERNDTSSON, 2011).

Existe uma variação horária significativa nos volumes de efluente gerados e nas concentrações de poluentes, devido, principalmente, aos hábitos da população (ERIKSSON et al., 2009). Eriksson et al. (2009) realizaram pesquisa em um edifício residencial, onde 84 apartamentos, de um quarto, continham tubulação exclusiva para efluentes provenientes do banho e lavatórios, que alimentavam uma Estação de Tratamento de Águas Cinzas (ETAC). Amostras do afluente proveniente dos apartamentos foram coletadas e analisadas a cada 20 minutos, em 8 intervalos de 8 horas cada, assim como amostras de cada etapa do tratamento no mesmo intervalo. Avaliações da vazão de entrada do sistema conduzem a indicações dos hábitos locais, tais como elaboração de refeições no horário de almoço e maior geração de efluentes nos horários que antecedem e que precedem o horário comercial. A partir dessa pesquisa, estimou-se uma conversão entre 25 – 57 % da água potável em águas cinzas, o que corrobora com pesquisas anteriores: consumo de 30 a 40% de água potável no banho e de 20 a 30% nos lavatórios/pia da cozinha (FIORI; FERNANDES; PIZZO, 2006). Em média, 46% do total de água consumida na Síria pode ser caracterizado como águas cinzas (MOURAD; BERNDTSSON; BERNDTSSON, 2011). Zhu et al. (2018) realizaram um apanhado das porcentagens de consumo de água em pontos de utilização de diversos países (China,

Inglaterra, Japão, Alemanha e Israel) trazendo médias de 27% a 30% em descargas de vasos sanitários, de 24% a 33% no banho, e de 9% a 17% em máquinas de lavar. Levando em consideração os itens apropriados para produção de águas cinzas – banho e máquina de lavar, estima-se uma conversão entre 33% e 50%.

A principal preocupação com qualquer sistema de reúso de águas é a transmissão de doenças. Em águas brutas, há uma variedade de patógenos que devem ser removidos nos processos de tratamento. Entretanto, sua grande variedade dificulta a determinação dos patógenos presentes no efluente, sendo necessária a adoção de indicadores de contaminação, dentre eles, sendo os mais comuns os coliformes totais, coliformes fecais e *Escherichia coli* (PARANYCHIANAKIS et al., 2015). Os parâmetros químicos e microbiológicos são os mais comuns para estabelecer a qualidade da água requerida. Águas de reúso doméstico ou urbano apresentam riscos devido à presença de microrganismos e produtos químicos que podem ser fontes de doenças para a população e animais, além de gerar impactos ao meio ambiente (SALGOT, 2008). Parâmetros físicos também devem ser avaliados, tais como temperatura, cor, turbidez e sólidos em suspensão. Temperaturas elevadas, por exemplo, podem favorecer o crescimento microbiano, assim como induzir a precipitação, em águas supersaturadas (ERIKSSON et al., 2002).

Para a utilização na descarga de vasos sanitários e lavagem de veículos, a Organização Mundial de Saúde (WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006) recomenda a adoção de tratamentos de nível secundário com desinfecção e armazenamento máximo da água tratada entre 24 e 48 horas.

Em geral, o tratamento de águas residuárias se dá por processos físicos, químicos ou biológicos, podendo, em muitos casos, haver uma união entre eles. De Gisi et al. (2016) realizaram uma revisão de literatura apresentando as características e métodos de tratamento usuais adotados na Alemanha, China, EUA, Japão e Austrália. Espera-se, na maioria das soluções tecnológicas, a adoção de mecanismos de separação física como pré tratamento – como tanques sépticos, filtros e telas, com objetivo de reduzir o teor de partículas sólidas e remoção de óleos e graxas; e desinfecção como pós tratamento, garantindo o atendimento aos padrões microbiológicos. As combinações de processos biológicos aerados, com adição de processos físicos de filtração e desinfecção são consideradas as soluções mais econômicas e flexíveis para o tratamento de águas cinzas (DE GISI et al., 2016).

Wetlands podem ser consideradas soluções ambientalmente adequadas, com bom custo-benefício, apesar da necessidade de elevadas áreas para implantação. Já os reatores biológicos rotativos de contato (RBC) devem ser considerados em projetos de média

escala, com atendimento, em média, de 70 pessoas, ocupando uma área de aproximadamente 15 m².

Considerado o único processo capaz de remover satisfatoriamente substâncias orgânicas, surfactantes e microrganismos, os biorreatores de membranas (MBR) têm ganhado espaço, sendo considerados uma solução atrativa para sistemas em prédios residenciais urbanos.

D'Agostin, Becegato e Baum (2017) apresentaram uma revisão bibliográfica sobre os métodos de tratamento pesquisados entre 2001 e 2016 no Brasil, que tem por finalidade adotar sistemas de reúso de águas residenciais, utilizando-se de águas cinzas, águas negras e pluviais, realizando, inclusive, uma avaliação das eficiências dos sistemas, comparando-as com os requisitos apresentados pela NBR 13.969 / 1997, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Constataram que a maior parte das pesquisas faz adoção de algum tipo de filtro - Filtro Biológico Anaeróbio de Fluxo Ascendente (FAFA); Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS); Filtro Terciário (FT); Pré-filtro de fluxo ascendente (PF); e alguma forma de desinfecção – radiação UV; cloro. Nota-se a necessidade de processos de desinfecção, de forma a atender aos usos mais exigentes. Adicionalmente, há pesquisas com sistemas de reatores anaeróbios, Processos Oxidativos Avançados (POA), Biodiscos, além de métodos considerados alternativos, como os tanques de evaporação.

2.3 Caracterização das águas cinza

As características das águas cinza variam de acordo com sua origem, sendo recomendado a utilização prioritária daquelas com menor teor de contaminantes. A utilização de águas provenientes da cozinha deve ser evitada devido à alta concentração de contaminantes. Caso se faça necessário, recomenda-se a adoção de tratamentos biológicos precedidos de tratamento preliminar, e procedidos de desinfecção (BOYJOO et al., 2013).

Ao se considerar o reúso, a primeira etapa deve ser a caracterização física, química e biológica do efluente. Em geral, os aspectos a analisar são semelhantes aos utilizados na caracterização do esgoto doméstico – pH, temperatura, cor, turbidez, sólidos dissolvidos (SD), sólidos suspensos totais (SST), DBO, nitrogênio, fósforo e patógenos. Outros parâmetros podem ser exigidos, a depender das condições locais (VUPPALADADIYAM et al., 2019).

Fiori, Fernandes e Pizzo (2006) fazem uma análise qualitativa de águas cinzas provenientes de residências com e sem crianças e animais, realizando análises de coliformes

totais, fecais, óleos e graxas, pH, DBO, DQO, sólidos suspensos e sedimentáveis, OD, surfactantes, contagem de bactérias, cloretos, turbidez, dureza total e condutividade, sua maioria com variações significativas, com exceção dos coliformes totais e pH. Em síntese, os autores afirmam se tratar de um efluente de baixa qualidade, possuindo alto valor de coliformes fecais, média de $2,4 \times 10^5$ NMP/100 mL; a turbidez foi outro parâmetro com valores elevados, variando entre 98,2 a 383,3 UNT. Estes dois parâmetros mostram a importância de tratamentos adequados para a redução a níveis aceitáveis.

De Gisi et al. (2016) realiza uma comparação dos padrões exigidos para diversos compostos presentes nos efluentes da Alemanha, China, Estados Unidos, Japão e Austrália. Com base nessa revisão, nota-se que parâmetros como pH, sólidos em suspensão totais (SST), DBO, turbidez e coliformes fecais devem ser incluídos no estabelecimento de diretrizes de utilização de águas cinzas, sem desmerecer eventuais limites para parâmetros como amônia, fósforo, nitrogênio, cloro residual e detergentes. Como a definição do tratamento depende das características das águas residuárias, é de suma importância sua correta caracterização.

Friedler (2004) caracterizou qualitativamente os efluentes provenientes do banho - banheira e chuveiro, lavatório, pia da cozinha e máquinas de lavar louça e roupa. A partir de 148 amostras e 20 parâmetros avaliados, o autor foi capaz de determinar as médias e desvios padrão, comparando com outras publicações da época. Os valores presentes na Tabela 1 são uma ponderação das médias entre chuveiro e lavatório, cujos volumes por uso foram estimados em 28 e 1,9 litros/uso, respectivamente.

Ao avaliar a qualidade do efluente proveniente de chuveiros de três classes distintas de apartamentos – com crianças, com animais e sem crianças/animais, Fiori, Fernandes e Pizzo (2006) obtiveram os valores característicos, médios, descritos na Tabela 1.

Experimentação realizada por Santasmasas et al. (2013) em uma planta industrial Síria, obteve características físico-químicos e biológicos sobre as águas cinza provenientes de chuveiros e pias dos banheiros da indústria. Os autores fizeram a instalação de um sistema de tratamento MBR (biorreator de membranas) compararam os resultados do tratamento com os requisitos da legislação Espanhola. Os resultados das análises de 50 amostras, antes do tratamento, estão disponíveis na Tabela 1. Como resultado da pesquisa, o tratamento por biorreator de membranas (MBR) foi eficiente no atendimento ao Decreto Real (RD) 1620 para os usos mais restritivos – uso urbano residencial.

Samayamantula, Sabarathinam e Bhandary (2019) realizaram um experimento piloto para tratamento de efluentes provenientes de uma mistura entre águas cinza da cozinha, chuveiro e máquina de lavar roupas, realizando a caracterização do afluente e efluente da estação de tratamento. O experimento foi realizado em três regiões distintas do Kuwait. Na Tabela 1 é possível observar os resultados médios para o afluente.

Tabela 1 – Caracterização de águas cinzas não tratadas

| Parâmetro | Unidade de medida | Fonte | | | | |
|---------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|--|
| | | Chuveiro lavatório ¹ | e Chuveiro ² | Chuveiro ³ | Chuveiro lavatório ⁴ | e Pia da cozinha, chuveiro e máquina de lavar ⁵ |
| pH | - | 7,40 | 7,34 | 7,04 | 7,70 | 10,29 |
| DBO _{5,20} | mg/L | 410,08 | 165 | 273 | 138 | - |
| DQO | mg/L | | 582 | | | |
| Turbidez | UNT | - | 109 | 333,3 | 68 | 199 |
| Sólidos Suspensos Totais | mg/L | 320,20 | 103 | - | - | 3140 |
| Coliforme termo tolerante | NMP/100 mL | 3,75 . 10 ⁶ , em CFU/100mL | 3,95 . 10 ⁴ | 1,6 . 10 ⁵ | 3,3 . 10 ⁴ | 2,42 . 10 ³ |
| E. coli | NMP/100mL | | 2,63 . 10 ⁴ | | | |
| Ovos helmintos | Ovo/L | - | - | - | < 0,1 | - |
| Condutividade elétrica | S/cm | 1540 | 124 | 125,7 – 195,67 | 1267 | 4910 |
| Fósforo total | mg/L | - | 0,2 | 0,84 | 3 | - |
| Nitrogênio total | mg/L | - | - | - | 23 | - |
| Nitrogênio amoniacal | mg/L | 1,15 | 0,8 | - | - | - |
| Cloreto | mg/L | 281,01 | 20,0 | 33,01 – 71,43 | - | - |
| Boro | mg/L | 0,36 | | - | - | - |
| Óleos e graxas | mg/L | - | 95,2 | 13,53 – 17,93 | - | - |

¹ Adaptado de Friedler (2004)² Bazzarella (2005)³ Fiori, Fernandes e Pizzo (2006)⁴ Santasmasas et al. (2013)⁵ Samayamanthula, Sabarathinam e Bhandary (2019)

2.4 Legislação

De maneira a estabelecer os parâmetros requeridos para os diversos compostos presentes em águas de reúso, diversos entes federativos elaboraram suas legislações específicas, apresentando os usos previstos para as águas cinza em conjunto com os níveis aceitáveis de seus poluentes.

No âmbito nacional, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) editou duas resoluções que tratam das águas para fins não potáveis: Resolução 54/2005 (CNRH, 2005), que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e a Resolução 121/2010 (CNRH, 2010) que estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal. Ambas tratam de aspectos gerais e não trazem valores de referência para os usos previstos.

Com a ausência de valores de referência nacionais, apesar da crescente demanda por aplicações do tipo, decorrentes, principalmente, da crise hídrica que assolou o sudeste do país em 2014, o Estado de São Paulo possui, desde 1976, uma lei estadual com os padrões de lançamento de efluentes em mananciais - Lei estadual nº 997 (SÃO PAULO, 1976). Após a crise hídrica, o estado de São Paulo aprovou a Resolução conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01 de 28 de junho de 2017 (SÃO PAULO, 2017), que disciplina o reúso direto e não potável da água para fins urbanos. Entretanto, a resolução não atende diretamente ao reúso de águas cinzas, já que trata apenas de efluentes provenientes de estações de tratamento de esgoto sanitário doméstico com utilização exclusiva na: I – irrigação paisagística; II - lavagem de logradouros e outros espaços públicos e privados; III – construção civil; IV - desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgotos; V - lavagem de veículos; e VI – combate a incêndio.

Apesar do contexto, a Resolução do Estado de São Paulo fornece parâmetros bem demarcados para usos com restrição moderada e com restrição severa, que podem ser úteis na definição dos parâmetros a adotar em águas cinza aplicadas na irrigação paisagística e descarga em vasos sanitários, ambos supostamente adotados como restrição moderada.

Ainda tratando de legislações estaduais, tem-se a Resolução COEMA Nº 2 de 02/02/2017 (CEARÁ, 2017) do estado do Ceará, que dispõe sobre padrões e condições para lançamento (em corpos receptores) de efluentes líquidos industriais e de outras fontes de poluição hídrica. Seus padrões estão em consonância com as resoluções nacionais Conama nº 357 (BRASIL, 2005) e Conama nº 430 (BRASIL, 2011a) buscando estabelecer diretrizes, critérios e parâmetros específicos para o reúso não potável de água para fins urbanos (semelhantes aos do estado de São Paulo), agrícolas e florestais, ambientais, industriais e na

aquicultura. Novamente, tem-se uma resolução estadual que não abrange o uso de águas cinza, porém suas condições podem ser úteis na definição de parâmetros a serem atendidos em sistemas de utilização dessas águas.

Enquanto a legislação ainda inexistente em alguns estados brasileiros, a cidade de Curitiba/PR aprovou, em 2003, a lei Nº 10.785 (CURITIBA, 2003), estabelecendo o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações (PURA), com o objetivo de “instituir medidas que induzam à conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas para captação de água nas novas edificações, bem como a conscientização dos usuários sobre a importância da conservação da água”. Essa legislação municipal abrange a utilização de dispositivos economizadores de água, além de fontes alternativas de abastecimento – águas provenientes das chuvas; captação, armazenamento e utilização de águas servidas exclusivamente em vasos sanitários (artigo 8º). Apesar da abrangência, não há menção aos parâmetros requeridos aos efluentes. Situação semelhante é vista no município de Maringá/PR, com relação à lei municipal de Nº 6.345 (MARINGÁ, 2003).

O Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (Prosab) realizou inúmeros estudos nacionais no tocante ao saneamento. No âmbito do reúso de águas, Aisse, Florencio e Bastos (2006) abordaram questões de qualidade e tratamento com aplicação de águas de reúso. O projeto fez a proposição de critérios de qualidade para utilização de esgotos sanitários para usos urbano, agrícola, e em piscicultura. A proposição de critérios de qualidade foi baseada em legislações internacionais e na aplicação da metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), a qual considerou margens de risco de contaminação, ao contrário da abordagem conservadora – risco nulo (AISSE; COHIM; BASTOS, 2006).

Apesar de não ter força de lei, a NBR 13.969 (ABNT, 1997b) tem força normativa, e contém valores de referência para o uso de água proveniente de sistemas de tratamento com tanques sépticos. A norma define quatro classes de uso, apresentando requisitos mínimos de qualidade que podem ser exigidos pelas agências reguladoras.

A utilização da NBR 13969/1997 deve ser vista com ressalvas, por se tratar de uma norma não específica para o reúso de água e consistir no reúso de efluentes não segregados provenientes de sistemas de tanques sépticos e tratamento complementar. Conforme ressalvas realizadas por Souza et al. (2019), destaca-se que a norma foi estabelecida há mais de 20 anos e que não contempla os resultados mais recentes realizados no Brasil, como as pesquisas realizadas pelo Prosab.

Com a ausência de leis federais que determinem critérios para o reúso urbano, é possível a adoção de legislações internacionais, como a agência de proteção ambiental

americana (EPA, 2012), o Decreto Real de nº 1620/2007 na Espanha e os valores de referência recomendados pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006).

O Decreto Real de nº 1620/2007 apresenta os limites de diversas substâncias para os usos previstos – urbano, agrícola, industrial e recreativo. Seu uso é recomendado por Santasmasas et al. (2013) para os casos de ausência de regulações locais.

Dentre os reuso urbanos, há a autorização de uso residencial para a rega de jardins e descarga sanitária, desde que respeitados os critérios de qualidade, que não haja cruzamento com tubulações de água potável e que haja sinalizações de advertência em toda tubulação até o ponto de uso (SANTASMASAS et al., 2013).

Para o reuso de água urbano – rega de jardins, descarga de vasos sanitários, combate a incêndios etc., EPA (2012) separa os parâmetros, a depender da possibilidade de acesso restrito ou não à população. Para o caso de descarga de vasos sanitários e rega de jardins, são recomendados os parâmetros para uso irrestrito, que requerem maior atenção ao tratamento, já que seus padrões de qualidade são mais exigentes.

Os critérios adotados pela EPA (2012) são provenientes de uma pesquisa realizada no país, onde 32 dos 50 estados americanos adotam regulamentações locais para o reuso urbano irrestrito, cujos parâmetros variam localmente. EPA (2012) fez um apanhado desses parâmetros e sugeriu uma regulação mínima utilizando os parâmetros comuns a todos. Os demais estados americanos que não possuem regulação específica podem seguir essa recomendação mínima para seus projetos de reuso de efluentes.

Hespanhol (2002) considera ser interessante existirem legislações menos abrangentes, como legislações estaduais e municipais, de forma a retratar as particularidades locais, ao invés de uma restrição nacional, que poderia limitar sua viabilidade, principalmente devido às dimensões continentais do país.

Os parâmetros mais presentes nas legislações consultadas são o pH, teor de matéria orgânica (DBO), turbidez, sólidos suspensos totais (SST) e coliformes.

Segundo Bastos e Bevilacqua (2006), as exigências para remoção de matéria orgânica (DBO) e sólidos suspensos totais (SST) são justificadas já que podem causar inconvenientes estéticos, como cor e maus odores, além da disponibilidade de nutrientes para o crescimento microbiano, comprometendo a posterior desinfecção. Os coliformes funcionam como indicadores da eficácia dos processos de desinfecção, enquanto a turbidez serve de indicador estético e auxiliar na remoção de patógenos.

O compilado de legislações nacionais que possam ser utilizadas no controle de estações de tratamento de águas cinza está disponível na Tabela 2. Na Tabela 3 é possível

observar os padrões de qualidade específicos para o reúso de águas cinza na irrigação de jardins e descarga de vasos sanitários adotados por legislações internacionais.

Tabela 2 – Critérios nacionais de qualidade para reuso urbano irrestrito

| Parâmetro | Unidade de Medida | Res. Conama 430 ⁽¹⁾ | CETESB-SP ⁽²⁾ | SES/SMA/SSRH-SP ⁽³⁾ | FIESP (2005) ⁽⁴⁾ | COEMA-CE ⁽⁵⁾ | ABNT ⁽⁶⁾ |
|----------------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------|
| pH | - | 5 a 9 | 5 a 9 | 6 a 9 | 6,0 a 9,0 | 6 a 8,5 | - |
| Temperatura | ° C | ≤ 40 ° C | ≤ 40 ° C | - | - | - | - |
| DBO _{5,20} | mg/L | - | ≤ 60 | ≤ 10 | - | - | - |
| Turbidez | UNT | - | - | ≤ 2 | ≤ 2 | - | < 5 |
| Sólidos Suspensos Totais | mg/L | ≤ 1,0 | ≤ 1,0 | * | - | - | - |
| Coliforme termo tolerante | UFC/100 mL | - | - | Não detectável | Não detectável | ≤ 1000 | < 500 |
| Ovos helmintos | Ovo/L | - | - | < 1 | - | ≤ 1 | - |
| Cloro residual total (CRT) | mg/L | - | - | < 1 | ≤ 0,5 | - | ≥ 0,5 |
| Condutividade elétrica | dS/m | - | - | < 0,7 | - | ≤ 3 | - |
| Nitrogênio amoniacal total | mg/L | ≤ 20 | - | - | - | - | - |
| RAS | - | - | - | < 3 | - | - | - |
| Sólidos dissolvidos totais | mg/L | - | - | < 450 | ≤ 500 | - | - |
| Cloreto | mg/L | - | - | < 106 | - | - | - |
| Boro | mg/L | ≤ 5 | ≤ 5 | < 0,7 | - | - | - |
| Óleos minerais | mg/L | ≤ 20 | - | - | - | - | - |
| Óleos vegetais | mg/L | ≤ 50 | - | - | - | - | - |

(1) Condições de lançamento de efluentes conforme artigo 16 da resolução Conama nº 430 (BRASIL, 2011a).

(2) Conforme artigo 18 da lei estadual nº 997 de 31/05/1976 (CETESB) do estado de São Paulo (SÃO PAULO, 1976).

(3) Valores referentes a categoria uso com restrição moderada da resolução conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01 de 28 de junho de 2017 (SÃO PAULO, 2017). Os valores apresentados podem conter observações importantes não apresentadas neste texto.

(4) Classe 1, referente a descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, fins ornamentais, lavagem de roupas e veículos (SINDUSCON, 2005).

(5) Com base no artigo 38 da resolução COEMA Nº 2 de 02/02/2017, que trata do reuso externo de efluentes sanitários para fins urbanos.

(6) Valores correspondentes a classe 2 de reuso, presente na NBR 13.969 (ABNT, 1997b).

Tabela 3 – Critérios internacionais de qualidade para reúso urbano irrestrito

| Parâmetro | Unidade de medida | WHO(2006) ⁽¹⁾ | EUA ⁽²⁾ | Espanha ⁽³⁾ | China (2002) ⁽⁴⁾ | Grã-Bretanha (2010) ⁽⁵⁾ |
|----------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| pH | - | | 6 a 9 | - | 6 a 9 | 5 a 9,5 |
| Temperatura | ° C | | - | - | - | - |
| DBO _{5,20} | mg/L | ≤ 10 | ≤ 10 | - | ≤ 10 | - |
| Turbidez | UNT | | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 5 | < 10 |
| Sólidos Suspensos Totais | mg/L | ≤ 10 | - | ≤ 10 | - | - |
| Coliforme termo tolerante | UFC/100 mL | ≤ 10 | Não detectável | Não detectável | ≤ 200 | 1000 |
| Ovos helmintos | Ovo/L | - | - | ≤ 0,1 | - | - |
| Cloro residual total (CRT) | mg/L | | 1 | - | - | < 2,0 |
| Condutividade elétrica | dS/m | - | - | - | - | - |
| Nitrogênio amoniacal total | mg/L | - | - | - | ≤ 10 | - |
| RAS | - | - | - | - | - | - |
| Sólidos dissolvidos totais | mg/L | - | - | - | ≤ 1500 | - |
| Cloreto | mg/L | - | - | - | - | - |
| Boro | mg/L | - | - | - | - | - |
| Óleos minerais | mg/L | - | - | - | - | - |
| Óleos vegetais | mg/L | - | - | - | - | - |

(1) Valores para uso em descarga de vasos sanitários baseados em regulamentações internacionais e adaptados ao Mediterrâneo Oriental (WHO, 2006).

(2) Valores conforme EPA (2012).

(3) Valores máximos admissíveis para reúso urbano residencial conforme Decreto Real nº 1620/2007 (ESPAÑA, 2007).

(4) Padrões de qualidade para águas de reúso em descarga de vasos sanitários na China, conforme GBT 18920-2002 *apud* (LYU et al., 2016).

(5) Padrões de qualidade para águas de reúso de vasos sanitários conforme norma BS 8525-1 (BSI, 2010).

2.5 Produção e consumo de águas cinza

O consumo de água potável é dependente dos hábitos locais, a exemplo das dietas usuais na Ásia e Europa, onde o consumo de água na produção de alimentos corresponde a 20 % do consumo total, na Ásia, contra apenas 8 % na Europa (ZHU et al., 2018). Essas características locais influem no volume final de água potável consumida, sem, entretanto, alterar significativamente as porcentagens de água cinza geradas.

A produção de águas cinzas tem como variável lógica sua origem, como as provenientes do banho, lavatórios, máquinas de lavar roupa e pias da cozinha, por exemplo. Segundo a NBR 7229 (ABNT, 1997a), a contribuição de esgotos em ambientes residenciais tem variação, a depender do padrão definido, variando de 100 litros por habitante por dia, em residências de baixo padrão, a 160 Lpcd no alto padrão. Essa é uma estimativa de produção de efluentes para dimensionamento de tanques sépticos, portanto inclui as águas negras. Alternativamente, pode-se estimar a produção de esgotos como sendo 80 % do consumo local de água.

Macintyre (2010) sugere o dimensionamento de reservatórios para abastecimento humano a partir da determinação de taxas de ocupação conforme a natureza do local, assim como estimativas de consumos *per capita* conforme a natureza da atividade. O autor faz estimativas de consumo residencial com base no padrão da edificação. A Tabela 4 apresenta os valores recomendados.

Tabela 4 – Estimativa de consumo diário de água

| Tipo do prédio | Unidade | Consumo L/dia |
|---------------------------|-------------------------|----------------------|
| Serviços domésticos | | |
| Apartamentos | <i>per capita</i> | 200 |
| Apartamentos de luxo | por dormitório | 300 a 400 |
| | por quarto de empregada | 200 |
| Residência de luxo | <i>per capita</i> | 300 a 400 |
| Residência de médio valor | <i>per capita</i> | 150 |
| Residências populares | <i>per capita</i> | 120 a 150 |

Fonte: Macintyre (2010).

Barreto (2008) realizou pesquisa com sete residências na zona sul de São Paulo, tendo instalado hidrômetros no cavalete de entrada e nos aparelhos individuais, realizando a desagregação dos usos internos, além de realizar uma revisão de pesquisas anteriores,

nacionais e internacionais. Como resultados para a região estudada, têm-se os consumos diários e porcentagens de utilização presentes, como indicados na Tabela 5.

Tabela 5 – Participação dos pontos de utilização no consumo médio diário na zona sul de São Paulo

| Ponto de utilização | Participação (%) | Consumo diário (L/dia) | Consumo per capita (L/dia/hab.) |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|--|
| Lavatório | 4,2 | 32 | 10,8 |
| Tanque | 5,4 | 41 | 13,6 |
| Caixa acoplada | 5,5 | 42 | 14 |
| Tanque com máquina de lavar | 8,3 | 63 | 21 |
| Tanquinho de lavar | 9,2 | 70 | 23,3 |
| Máquina de lavar roupas | 10,9 | 83 | 27,7 |
| Pia de cozinha | 12 | 91 | 30,3 |
| Chuveiro | 13,9 | 106 | 35,3 |
| Outros usos | 30,6 | 232 | 77,4 |
| Total | 100 | 788 | 262,7 |

Fonte: Adaptado de Barreto (2008).

Os valores obtidos por Barreto (2008) não devem ser estendidos para outras regiões, devido mudanças nos perfis de consumo, conforme ressalta o próprio autor. Comprovando a afirmação anterior, Santos (2002) fez um apanhado dos consumos parametrizados divulgados pela American Water Works Association (AWWA) e pelo Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), cujas participações estão disponíveis na Tabela 6, em conjunto com as estimativas realizadas por Ghisi e Ferreira (2007) em edifício residencial situado em Florianópolis/SC, e pesquisa realizada por DeOreo et al (2016).

Tabela 6 – Parametrização dos consumos de água em edificações domiciliares

| Ponto de utilização | BARRETO (2008) | AWWA (2001)¹ | PNCDA (1998)² | GHSI; FERREIRA (2007) | DEOREO et al (2016) | |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | 1999 | 2016 |
| Lavatório | 4,2 % | 15,4 % | 8 % | 33,9 % | 15,7% | 19,0% |
| Pia de cozinha | 12 % | - | 18 % | - | - | - |
| Tanque | 5,4 % | - | 3 % | - | - | - |
| Tanque com máquina de lavar | 8,3 % | - | - | - | - | - |
| Bacia Sanitária | 5,5 % | 26,1 % | 5 % | 32,8 % | 26,7% | 24,2% |

(continua)

| Ponto de utilização | BARRETO (2008) | AWWA (2001) ¹ | PNCDA (1998) ² | GHISI; FERREIRA (2007) | (conclusão) | |
|----------------------------------|----------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------|-------|
| | | | | | DEOREO et al (2016) | |
| | | | | | 1999 | 2016 |
| Tanquinho de lavar | 9,2 % | - | - | - | - | - |
| Máquina de lavar roupas | 10,9 % | 22,7 % | 11 % | 3,7 % | 21,6% | 16,4% |
| Banheira | - | 1,8 % | - | - | 1,7% | 2,6% |
| Chuveiro | 13,9 % | 17,8 % | 55 % | 18,6 % | 16,7% | 19,0% |
| Lavadora de pratos | - | 1,4 % | - | - | 1,4% | 1,2% |
| Outros usos | 30,6 % | 14,8 % | - | 11 % | 16,0% | 17,8% |
| Consumo <i>per capita</i> (Lpcd) | 262,7 | - | - | 172,3 | 315,1 | 266,4 |

¹ Santos (2002).

² Adaptado de Rocha, Barreto e Ioshimoto (1998).

Fonte: Barreto (2008); Santos (2002); Ghisi e Ferreira (2007); DeOreo et al. (2016); Rocha, Barreto e Ioshimoto (1998).

Adicionam-se à discussão os resultados históricos obtidos pela Water Research Foundation (DEOREO et al., 2016), que avaliou os padrões de consumo de águas potáveis dos americanos, comparando os resultados das pesquisas realizadas em 1999 e 2016. A Tabela 7 apresenta os consumos *per capita* internos para cada ano pesquisado. Um dos resultados mais notórios da pesquisa é a capacidade que a tecnologia possui de reduzir os consumos internos, como a redução de 23 % devido a mudança tecnológica das bacias sanitárias de 12 L por acionamento para os atuais sistemas de duplo acionamento (3 e 6 litros) e de 36 % das máquinas de lavar roupas.

Tabela 7 – Consumos *per capita* em residências americanas, 1999 e 2016.

| Ponto de Utilização | Consumo - 1999 (Lpcd) | Consumo - 2016 (Lpcd) | Varição no consumo (%) |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Bacia sanitária | 84,1 | 64,5 | -23% |
| Chuveiro | 52,7 | 50,5 | -4% |
| Banheira | 5,5 | 6,8 | 25% |
| Lavatório | 49,6 | 50,5 | 2% |
| Lavadora de roupas | 68,2 | 43,6 | -36% |
| Lavadora de pratos | 4,5 | 3,2 | -30% |
| Vazamentos | 43,2 | 35,9 | -17% |
| Outros | 7,3 | 11,4 | 56% |

Fonte: DeOreo et al. (2016)

Parte destes consumos de água potável pode ser substituída por águas de reuso, desde que tratadas. Ghisi e Ferreira (2007) obtiveram reduções na demanda de água potável entre, aproximadamente, 29 % e 35 %, apenas com o uso de águas cinza e águas pluviais na descarga de vasos sanitários.

Pesquisa realizada por Zhu et al. (2018) determinou a produção de águas cinza entre 27 – 30 %, 24 – 33 % e 9 – 17 %, respectivamente, para os usos no lavatório, banho e lavanderia. Estes valores correspondem às médias obtidas em pesquisas realizadas na China, Alemanha, Inglaterra, Israel e Japão. Apesar de resultados semelhantes, os consumos de água potável são significativamente diferentes, variando entre 120 *per capita* por dia (Lpcd) na Alemanha a 314 litros *per capita* por dia no Japão.

Tratando-se das águas passíveis de reuso, Morel e Diener (2006) fazem um apanhado de diversas publicações sobre o tema, entre os anos 1999 e 2006, em diversos países – Vietnam, Mali, África do Sul, Jordânia, Israel, Nepal, Suíça, Austrália e Malásia, sendo que, apesar de não retratarem as médias nacionais, foi possível determinar as produções de águas cinza nos diversos ambientes domésticos:

- 15 – 30 litros *per capita* por dia (Lpcd) na cozinha;
- 30 – 62 Lpcd no banho; e
- 13 – 34 Lpcd na lavanderia.

A produção de águas cinza é variável até mesmo em regiões cujas condições econômicas e climáticas são semelhantes, conforme observado por Vuppaladiyam et al. (2019), que apresentam a geração média de águas cinzas para determinadas regiões:

- Ásia: 72 a 225 litros *per capita* por dia (Lpcd);
- Europa: 35 a 150 Lpcd;
- Estados Unidos: 200 Lpcd.

Dentre os principais usos das águas de reuso no ambiente residencial estão a descarga em vasos sanitários e projetos de irrigação de áreas verdes. DeOreo et al. (2016) asseveram que, devido a diversidades geográficas e climáticas, os usos externos, principalmente a irrigação de vegetação rasteira, são bem mais variáveis que os usos internos, principalmente em residências de clima tropical. Embora o uso médio anual de todos os participantes de sua pesquisa (23.749 residências) tenha sido de 333 m³ por ano, o uso anual dos participantes com ampla área verde foi, em média, de 382 m³ por ano.

Por meio de uma análise probabilística, Lombardi et al. (2018) determinaram frequências e volumes dos usos de equipamentos domésticos na cidade italiana de Sparanise,

cujos dados médios são observados na Tabela 8. Os valores consideram o uso diário dos aparelhos por uma família composta por três pessoas.

Tabela 8 – Frequências e volumes por uso de aparelhos sanitários em Sparanise, Espanha

| Aparelho doméstico | Volume (litros/uso) | Frequência (usos/dia) |
|---------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Vaso sanitário | 3,0 | 4 |
| Lavatório | 7,0 | 4 |
| Bidê | 3,5 | 2 |
| Chuveiro | 25,0 | 2 |
| Banheira | 35,0 | 1 |
| Pia da cozinha | 4,5 | 3 |
| Lavadora de pratos | 4,0 | 3 |
| Máquina de lavar roupas | 30,0 | 2 |

Fonte: Adaptado de Lombardi et al. (2018).

A frequência de utilização de vasos sanitários varia entre as pesquisas, partindo de 4 usos diários por habitante em Sparanise, Itália (LOMBARDI et al., 2018) e 5 usos diários nos Estados Unidos (DEOREO et al., 2016). Esses valores foram ratificados na pesquisa bibliográfica realizada por Jordán-Cuebas et al. (2018), que determinaram frequências médias variando entre 3,9 e 5,9 descargas por habitante por dia.

Normativos Britânicos (BSI, 2010) trazem valores de referência para projetistas de sistemas de reúso tanto na produção quanto no seu consumo. O trabalho considera a produção de águas cinza de 50 Lpcd, considerando apenas as águas provenientes do banho, enquanto o consumo varia dependendo do uso – descarga em vasos sanitários, 25 Lpcd; máquina de lavar roupas, 15 Lpcd; outros usos, como a rega de jardins, 10 Lpcd. Para simplificar os dados, BSI (2010) apresenta uma tabela com os valores de produção e demanda de águas cinza, a depender da ocupação da edificação residencial. A Tabela 9 traduz estes valores.

Tabela 9 - Valores de referência para produção e demanda de sistemas de reúso de águas cinzas na Grã-Bretanha

| Ocupação | Produção¹ | Demanda | | |
|-----------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------|
| | | Banheiro | Lavanderia | Outros usos² |
| 1 habitante | 50 | 25 | 15 | 10 |
| 2 habitantes | 100 | 50 | 30 | 20 |
| 3 habitantes | 150 | 75 | 45 | 30 |

¹ Produção proveniente apenas do banho.

² por exemplo, irrigação de jardins.

Fonte: Adaptado de BSI (2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

Com um índice de atendimento urbano de água entre 60 e 80 %, conforme Brasil (2019), o consumo médio de água no estado do Ceará é de 126,7 litros *per capita* dia (Lpcd), valor levemente superior ao consumo de 2016, de 125 Lpcd. A tarifa média aplicada no estado, em 2018, foi de R\$ 3,32 por metro cúbico, com despesas médias para captação, tratamento e distribuição de R\$ 3,08 por m³.

A região metropolitana de Fortaleza conta com mais de 4,5 milhões de habitantes atendidos pela rede de abastecimento de água, entretanto, apenas 49% dessa população é atendida pela rede de esgotamento sanitário, com um indicador de esgoto tratado por água consumida de apenas 58,08 % (OLIVEIRA; SCAZUFCA; MARGULIES, 2020).

A pesquisa foi realizada em um empreendimento residencial inaugurado em 2018, que teve como proposta uma visão sustentável, contando com bacias sanitárias de duplo acionamento, captação de águas pluviais para irrigação dos jardins e para os espelhos d'água, sistemas de tratamento de águas cinza, medidores individuais de consumo de água, dentre outros aspectos.

O empreendimento, denominado como residencial Villa Toscana, é considerado de alto padrão, composto por duas torres de 22 andares, com dois ou três apartamentos por andar, e área privativa entre 115,18 e 133,53 m² por apartamento. Os apartamentos são compostos por até três suítes e quatro banheiros, além de sistema de tratamento de águas cinzas captando as águas provenientes dos chuveiros e lavatórios e reutilizando-as, exclusivamente, nas bacias sanitárias e na rega dos jardins. O residencial possui uma área verde de aproximadamente 4.400,00 m², regada exclusivamente com o efluente tratado. A Figura 1 mostra o *layout* do residencial, com destaque para as torres objeto desta pesquisa.

O empreendimento possui tubulações específicas para as águas de reúso, sem o risco de haver cruzamento com a rede de abastecimento de água potável, dispondo de reservatórios independentes. São quatro reservatórios destinados à reservação de águas cinza: um destinado à reservação de águas cinza sem tratamento, provenientes das duas torres; o segundo, destinado à reservação das águas cinzas tratadas, de onde são bombeadas para os dois reservatórios superiores, destinados a alimentar os vasos sanitários de ambas as torres. A localização de cada reservatório e seus volumes estão disponíveis na Tabela 10.

Figura 1 – Visão geral do empreendimento, com indicação das torres em estudo



Fonte: [Site da construtora](#)¹ e adaptações do autor (2020).

Tabela 10 – Localização dos reservatórios de acumulação de águas cinzas

| Reservatório | Localização | Área (m ²) | Volume (m ³) |
|-----------------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------|
| Reservatório superior (R1) | Torre Orbetello, cobertura | 13,77 | 20,65 |
| Reservatório superior (R2) | Torre Viareggio, cobertura | 13,47 | 20,20 |
| Reservatório de distribuição (R3) | Torre Orbetello, subsolo 1 | 67,41 | 101,11 |
| Reservatório de captação (R4) | Torre Orbetello, subsolo 1 | 41,73 | 62,59 |

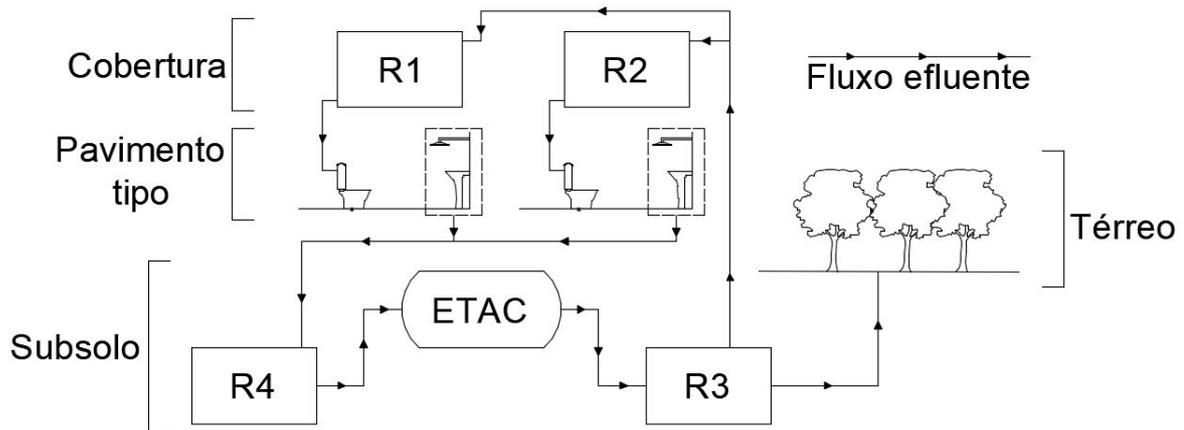
Fonte: O autor (2020).

3.1.1 Estação de Tratamento de Águas Cinza (ETAC)

A estação de tratamento, localizada no subsolo do empreendimento, possui dois reservatórios inferiores: um para acúmulo de águas cinza bruta (R4) – provenientes dos apartamentos; e o segundo para acúmulo de águas cinza de reúso (R3) que, em tempos programados, são encaminhadas por bombas de recalque até os reservatórios superiores (R1 e R2), que distribuem as águas para os aparelhos sanitários. Outra forma de utilização das águas cinza é a rega dos jardins, realizada por bomba submersa diretamente instalada no reservatório inferior (R3) e acionada de forma programada. O fluxo do efluente é observado na Figura 2.

¹ Disponível em: <http://www.scopa.com.br/images/empreendimentos/g/20140522084042000000Pilotis-villa-toscana.jpg>. Acesso em dez. 2019.

Figura 2 - Fluxograma de vazões



Fonte: O autor (2020).

Em períodos chuvosos, há uma redução do consumo de águas cinza para a rega dos jardins, requerendo, portanto, que o excesso de águas cinza gerada seja enviado ao sistema de esgotamento sanitário urbano. Isso ocorre no reservatório R4, onde se tem instalado um extravasor ligado diretamente na rede pública de esgotamento. Quando há excesso de volume produzido, este é automaticamente encaminhado sem tratamento.

O sistema é composto pelos tanques de reservação e por um sistema de tratamento de águas cinza compacto, denominado de ETA Reúso, com capacidade para 5.000 litros por hora, e fabricado pela empresa Alfamec Soluções Ambientais. A ETA Reúso ocupa uma área de aproximadamente 17,80 m² e tem funcionamento semelhante ao tratamento convencional de água – coagulação, floculação, decantador laminar, filtro de dupla camada (antracito e areia) e desinfecção com cloro realizada diretamente na tubulação entre a ETA e o reservatório R3.

O fabricante, em seu catálogo de produtos (ALFAMEC, 2017), assegura que este equipamento é projetado de acordo com os requisitos da NBR 12.216 (ABNT, 1992), artigos 18 e 19A da lei estadual N° 997 (SÃO PAULO, 1976) e as exigências do artigo 16, Resolução Conama n° 430/2011 (BRASIL, 2011a). No ANEXO A apresenta-se o fluxograma de tratamento do sistema.

3.2 Proposição de legislação para uso de águas cinza

Com base no levantamento de legislações nacionais e internacionais, foi proposta uma legislação local com duas categorias, mais restritiva e menos restritiva, baseadas nos limites adotados por outros autores, adequando-os aos usos previstos e às condições locais.

A proposta levou em consideração os parâmetros mais exigidos pelas legislações consultadas. Entende-se por mais exigidos aqueles parâmetros cuja cobrança é repetida por mais autores, mesmo que em faixas de concentração diferentes.

A hipótese mais restritiva foi proposta com base nos padrões mais rigorosos obtidos entre as legislações consultadas. Já a proposta de legislação menos restritiva levou em consideração uma discussão mais profunda dos parâmetros e seus limitantes. Buscou-se discutir os valores mais adequados para cada parâmetro com base em experiências passadas e possíveis inconvenientes que possam ser gerados no não atendimento dos limites propostos.

Considerou-se a condição mais restritiva (+ restritivo, ver Tabela 13) como sendo a proposta para uso irrestrito, como a irrigação de gramados e jardins ornamentais onde o contato com o efluente é mais provável. Já a condição de uso menos restritivo foi proposta para a descarga de vasos sanitários.

3.3 Caracterização qualitativa das águas cinza

Para a caracterização qualitativa das águas cinza, foram coletadas e analisadas separadamente águas cinza na entrada e saída da estação de tratamento instalada no edifício, uma vez por semana, durante os meses de julho de 2019 a setembro de 2019, totalizando 7 amostras, cada. O número de amostras poderia ser maior, mas isso não foi possível devido à paralisação do sistema de tratamento do condomínio, que ficou inoperante por falta de insumos para coagulação, entre os meses de setembro de 2019 e maio de 2020. Devido à interrupção, o efluente bruto proveniente dos apartamentos foi lançado diretamente na rede coletora de esgotos, sem locais de visita onde fosse possível a realização de coletas.

A coleta, realizada em recipientes plásticos de 5 litros, se deu na altura das tubulações de sucção (reservatório R4) e recalque (reservatório R3), de forma a melhorar a representatividade das amostras. Ensaios realizados no local, como pH, temperatura e condutividade elétrica, tiveram leituras realizadas imediatamente após a coleta, inserindo parte da amostra em béqueres de 250 mL e análises com a sonda multiparamétrica. Seus

resultados foram anotados em caderneta própria, seguindo o formulário presente no APÊNDICE A.

Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao laboratório de saneamento do DEHA, onde foram realizadas as análises físico-químicas e biológicas, seguindo procedimentos recomendados pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 19a Edição (APHA et al., 1995).

Como as águas eram provenientes exclusivamente dos chuveiros e lavatórios, espera-se a presença de bactérias, cabelos, matéria orgânica e sólidos suspensos (pele, células), óleos e graxas, resíduos de sabão e detergente, e água quente (WHO, 2006).

No Quadro 1 apresentam-se os parâmetros físico-químicos e microbiológicos considerados para os afluentes e efluentes da estação de tratamento de águas cinzas. A definição desses parâmetros baseou-se nas resoluções Conama nº 357 (BRASIL, 2005) e na resolução estadual COEMA nº 2 (CEARÁ, 2017), além das recomendações constantes no Quadro 2, que apresenta os motivos para a adoção dos ensaios de caracterização, buscando apresentar a importância dos mesmos para a definição dos processos de tratamento e utilização das águas de reúso.

Quadro 1 - Parâmetros analisados para caracterização qualitativa das águas cinza

| Parâmetros físicos | Parâmetros químicos | Parâmetros microbiológicos |
|--|---|---|
| Temperatura (T) Condutividade elétrica (CE) Cor Turbidez Sólidos sedimentáveis (SS) Sólidos suspensos totais (SST) Sólidos totais (ST) Teor de óleos e graxas (TOG) | pH DQO total (DQOt) DQO filtrada (DQOf) Nitrogênio amoniacal (N-NH ₃) Ortofosfato solúvel (OP) Nítrito Nitrato Cloretos Sulfato | Coliformes termo-tolerantes (CTT) Escherichia coli |

Fonte: O autor (2020).

Quadro 2 - Razões para escolha dos parâmetros de caracterização das águas cinza.

| Parâmetros | Justificativa |
|------------------------|---|
| pH | Geralmente segue o pH da água de abastecimento, entretanto, certos produtos químicos podem alterá-lo (ERIKSSON et al., 2002). |
| Temperatura | Pode contribuir com o desenvolvimento de microrganismos e favorecer a precipitação, podendo gerar entupimentos (ERIKSSON et al., 2002). |
| Turbidez e sólidos | Podem contribuir para o entupimento de tubulações e/ou filtros de areia usados no tratamento (ERIKSSON et al., 2002). |
| Cor | Pode causar um impacto imediato ao consumidor, gerando a recusa da água (LIBÂNIO, 2010). |
| Alcalinidade e dureza | Quando elevados, geram indícios de risco de entupimento (ERIKSSON et al., 2002). |
| DBO e DQO | Riscos de depleção no teor de oxigênio durante o transporte e armazenamento aumentando o risco da geração de compostos tóxicos (ERIKSSON et al., 2002). |
| Compostos nitrogenados | São esperados em comunidades com costume de urinar durante o banho (ERIKSSON et al., 2002). |
| Compostos fosforados | Estão ligados ao consumo de detergentes (ERIKSSON et al., 2002). |
| Compostos de enxofre | Possível ocorrência de maus odores (BAZZARELLA, 2005). |
| Cloro residual | Quantidades excessivas de cloro livre podem provocar a queima de folhas e danificar algumas culturas sensíveis (SOUZA, 2008). |
| Microrganismos | Podem indicar uma proliferação de microrganismos patogênicos (ERIKSSON et al., 2002). |

Fonte: Adaptado de Eriksson et al (2002); Bazzarella (2005); Souza (2008); Libânio (2010).

3.4 Eficiência do sistema de tratamento

De posse das caracterizações dos efluentes bruto e tratado, foi possível determinar os percentuais de variação de todos os parâmetros analisados. Com isso, discute-se a eficiência do sistema de tratamento na remoção de diversos compostos – preferencialmente aqueles que possuem restrições nas propostas de legislação.

Para os parâmetros considerados na proposta, foram elaborados gráficos de caixa (*boxplot*) apresentando as variações dos parâmetros e comparando o efluente tratado com os valores restritivos. Linhas horizontais representando os limites facilitam a visualização dos parâmetros físicos, químicos e biológicos que atendem, ou não, as exigências formuladas.

3.5 Caracterização quantitativa da demanda de águas cinza em edificações residenciais

Foi realizada uma análise quantitativa sobre os consumos de água potável, medidos entre os meses de julho e novembro de 2019, por apartamento, assim como a

população residente fixa, gerando valores de consumo médio diário por apartamento e do consumo *per capita*.

As leituras mensais dos hidrômetros individuais foram suficientes para se estimar o consumo diário por apartamento, bastando, para isso, dividir o consumo mensal pelo número de dias entre leituras, em geral, 30 dias.

Para auxílio na determinação dos consumos *per capita*, procuraram-se informações relativas ao número de usuários de cada apartamento. Em apartamentos onde não foi possível a determinação exata de usuários, estimou-se uma população de dois habitantes por dormitório; para a dependência, usualmente utilizada por funcionários fixos, estimou-se apenas um habitante, conforme taxa de ocupação para prédios de apartamentos recomendada por Macintyre (2010).

Na sequência, fez-se um estudo teórico sobre a distribuição dos usos internos de água com base nas porcentagens de participação obtidas por Barreto (2008) e no consumo *per capita* teórico proposto por Macintyre (2010), para apartamentos. Com base nesses dados, estimaram-se os consumos por aparelho e foram obtidos valores teóricos de volume requerido para cada fonte de abastecimento – água potável e água de reúso.

Para a determinação das vazões de consumo de águas cinza, foi instalado um sistema com sensor de distância interagindo com placa eletrônica Arduino, realizando leituras da distância do sensor (fixado a 50 cm do nível máximo dos reservatórios) para o nível de água. As leituras foram realizadas a cada 10 segundos e o cálculo da vazão instantânea foi efetuado a partir de leituras consecutivas de distância e tempo entre leituras (velocidade instantânea) e a área do reservatório, conforme Equação 1. O sistema armazenou dados de 60 dias, durante os meses de setembro e dezembro de 2019.

$$Q = 1000 \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} \cdot A \quad (1)$$

Onde:

Q: vazão instantânea, em L/s;

Δs : variação entre leituras, em cm;

Δt : variação de tempo entre leituras, definido como 10 s;

A: área do reservatório, em cm²;

1000: fator de conversão de cm³ para litros;

As leituras foram realizadas nos reservatórios: R1 – reservatório superior destinado a atender aos vasos sanitários da torre Orbetello; R2 – reservatório superior destinado a atender aos vasos sanitários da torre Viarregio; R3 – reservatório inferior de acumulação de águas cinza já tratadas. Deste último reservatório são bombeadas vazões para rega de jardins e abastecimento dos reservatórios superiores.

Com base nos dados de vazão, foram elaborados hidrogramas de consumo com os valores médios horários, utilizando-se os dados de ± 30 min do horário. Utilizando-se do método de Hippl, determinou-se o volume útil dos reservatórios para a taxa de ocupação atual. De posse dos consumos de R1, R2 e R3, foi possível estimar a vazão utilizada na rega de jardins, conforme Equação 2.

$$Q_{rega} = Q_{R3} - (Q_{R1} + Q_{R2}) \quad (2)$$

Onde:

Q_{rega} : vazão instantânea utilizada na rega dos jardins, em L/s;

Q_{R1} : vazão instantânea medida no reservatório R1, em L/s;

Q_{R2} : vazão instantânea medida no reservatório R2, em L/s;

Q_{R3} : vazão instantânea medida no reservatório R3, em L/s;

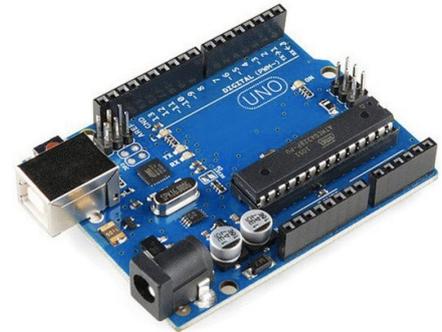
Para medição das distâncias, utilizou-se o sensor JSN-SR04T-2.0 (Figura 3-a), que consiste em sensor ultrassônico, à prova de água, com capacidade de leitura de distâncias entre 20 e 600 cm e acurácia de 10 mm, capaz de operar em temperaturas entre -20 e 70 °C. Para processamento dos dados, usou-se uma placa Arduino Uno R3 (Figura 3-b) e para seu armazenamento, uma placa Data Logger Shield com RTC DS1307 e cartão de memória SD 8GB (Figura 3-c). Acrescenta-se ao material utilizado uma placa Protoboard 400 pontos (Figura 3-d) e jumpers para ligação. A programação foi realizada no software Arduino IDE 1.8.10, em ambiente Mac OS, cujo código fonte pode ser visualizado no APÊNDICE B.

Figura 3 - Equipamentos utilizados para medição de volume nos reservatórios

a)



b)



c)



d)



a) Sensor JSN-SR04T-2.0; b) Placa Arduino Uno R3; c) Placa Data Logger Shield com RTC DS1307; d) Placa Protoboard 400 pontos.

Fonte: O autor (2020).

A instalação do sistema de medições no reservatório R1 é apresentado na Figura 4, observando-se que o sensor fica instalado dentro do reservatório e o sistema eletrônico fica protegido dos intempéries por uma placa de EPS, garantindo uma distância segura do piso, para o caso de empoçamentos; uma bacia circular para proteção contra pingos de chuva e um tijolo furado comum para evitar imprevistos devido ao vento. Garantiram-se espaços de ventilação entre a placa de EPS e a bacia, de forma a amenizar os efeitos da temperatura na placa. A alimentação elétrica foi realizada por meio de extensão conectada a tomada no mesmo pavimento - cobertura. Repetiu-se o procedimento de instalação nos demais reservatórios do sistema de reúso.

Figura 4 - Instalação do sistema eletrônico para medição



Fonte: O autor (2020).

Com base nos hidrogramas obtidos, foram determinados: os horários de pico no consumo de águas de reúso, valores *per capita* para uso na descarga de vasos sanitários, número de acionamentos por usuário e o consumo *per capita* de água para irrigação dos jardins. Com os valores *per capita*, pode-se estimar o volume ideal dos reservatórios para a condição de 100 % de ocupação do condomínio, por meio da aplicação de regras de proporcionalidade para os consumos em vaso sanitário, e mantendo o consumo para irrigação, que pode ser considerado não vinculado à população residente.

Por fim, realizou-se uma comparação entre os volumes considerados ideais e os executados, para os reservatórios R1 e R2, avaliando-se o período de reservação atual e apresentando cuidados que devem ser tomados durante o projeto, para reduzir o período de retorno financeiro do sistema de reúso de águas cinza.

3.6 Determinação da redução do consumo de água

Com informações sobre o consumo de águas cinzas, o volume de água potável consumida diariamente pelos apartamentos e o volume utilizado no paisagismo do empreendimento, é possível determinar o ganho ecológico do sistema de reúso.

De posse dos valores de redução do consumo de água potável e da vazão de esgotos lançada na rede pública, é possível comparar seus resultados com outros sistemas existentes, sendo possível avaliar os fatores que levam a índices diferentes – localidade e nível de ocupação da residência, faixa etária, estilo de vida, classe social, costumes dos moradores, tipo de fonte de águas cinza e qualidade da água de abastecimento e de reúso (BAZZARELLA, 2005).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Proposta de parâmetros limites para utilização de águas cinzas

Avaliando as legislações disponíveis nas Tabela 2 e 3 (item 2.4), têm-se como parâmetros mais exigidos os coliformes termotolerantes (9 vezes), pH (8), turbidez (7), teor de matéria orgânica (5) e sólidos suspensos (4). Os demais parâmetros aparecem em menor número ou não aparecem.

Em grande maioria, exige-se a não detecção de coliformes termotolerantes. Tal exigência é comum ser proposta, por se tratar de um uso irrestrito para as águas cinzas, o que requer uma segurança em termos de saúde pública. A aceitabilidade de valores mais altos (menor de 1000 UFC/100 mL) é observada em pesquisas bibliográficas realizadas por Bazzarella (2005) e Oliveira (2015), nas quais concluiu-se que a utilização de águas de reúso no selo hídrico de bacias sanitárias possui teores de contaminantes semelhantes aos selos hídricos com água potável, inclusive possuindo menores teores de coliformes na comparação. Assim, é possível afirmar que as restrições apresentadas estão exageradas para esse uso.

Pesquisa realizada pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - Prosab (BASTOS; BEVILACQUA, 2006) relaciona o risco potencial e real de infecções que possa vir a causar efeitos adversos à saúde. Esgotos sanitários possuem um risco potencial de infecção dos usuários, sem, entretanto, ser considerado um risco real, devido a uma série de fatores relativos ao agente, ao nível de exposição, além da população exposta.

Os autores continuam: “para que um organismo patogênico presente em um efluente chegue a provocar doença, o mesmo teria que: (i) resistir aos processos de tratamento [...], sobreviver no ambiente em número suficiente [...], a infecção resultar em doença ou transmissão posterior” (BASTOS; BEVILACQUA, 2006, p. 19).

A própria legislação brasileira constante da resolução Conama n° 274 (BRASIL, 2000), que define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras, classifica águas doces com contato primário cuja densidade de coliformes fecais (termotolerantes) máxima seja de 1000 UFC/100mL como uma água de qualidade satisfatória. Não há motivos para considerar a ausência de coliformes como limitante no território nacional, como o recomendado pela resolução conjunta SES/SMA/SSRH n° 01 (SÃO PAULO, 2017).

O trabalho realizado por Bastos e Bevilacqua (2006) propõe diretrizes para os parâmetros microbiológicos de efluentes, em consonância com as técnicas de tratamento de amplo emprego no país, utilizando-se de conhecimentos adquiridos ao longo de 10 anos de

pesquisa do Prosab. Os autores enfatizam que os padrões de qualidade sugeridos são factíveis. Suas diretrizes para usos urbanos de esgotos sanitários são separadas em três categorias: usos irrestritos, usos restritos e usos prediais. Os valores recomendados estão disponíveis na Tabela 11.

Tabela 11 – Diretrizes do PROSAB para usos urbanos de esgotos sanitários

| Categoria | CTT⁽⁴⁾ | Ovos de helmintos⁽⁵⁾ |
|---------------------------------|--------------------------|--|
| Usos irrestritos ⁽¹⁾ | ≤ 200 | ≤ 1 |
| Usos restritos ⁽²⁾ | $\leq 10^4$ | ≤ 1 |
| Usos prediais ⁽³⁾ | $\leq 10^3$ | ≤ 1 |

⁽¹⁾ Usos irrestritos: irrigação (campos de esportes, parques jardins e cemitérios, etc.) e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso irrestrito ao público, limpeza de ruas e outros usos com exposição similar.

⁽²⁾ Usos restritos: irrigação (parques, canteiros de rodovias, etc.) e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso controlado ou restrito ao público, abatimento de poeira em estradas vicinais, usos na construção (compactação do solo, abatimento de poeira, etc.).

⁽³⁾ Usos prediais: Descarga de toaletes.

⁽⁴⁾ Coliformes termotolerantes em UFC/100 mL.

⁽⁵⁾ Em ovos por litro (Ovo/L)

Fonte: Adaptado de Bastos e Bevilacqua (2006).

São considerados neste trabalho os limites propostos pelo Prosab para os parâmetros microbiológicos, sendo adotados os valores para usos prediais e usos irrestritos. A adoção da categoria de usos irrestritos se dá pela possibilidade de acesso dos usuários aos jardins do condomínio, elevando os riscos de contaminação. Para a descarga em vasos sanitários, adotaram-se as diretrizes para usos prediais.

O pH interfere nos processos de tratamento, da coagulação ao processo de desinfecção química. Assim, manter seus valores próximos da neutralidade é senso comum entre as legislações. Algumas exigências são mais restritivas, permitindo valores entre 6 e 9; outras, mais abrangentes, entre 5 e 9,5. Apesar do valor do pH da água não apresentar efeito sobre a saúde humana é de interesse manter seus valores próximos ao das águas naturais de superfície, variando entre 6,0 e 8,5 (LIBÂNIO, 2010), evitando, assim, problemas na cor verdadeira (pH inferior a 5,0) e no controle da corrosão na rede de distribuição (pH superior a 9,0).

Características físicas como cor e turbidez são importantes, devido ao impacto imediato no consumidor, podendo, em caso de aspecto desagradável, gerar situação de recusa do uso do efluente. Adotar valores de turbidez próximos ao das águas potáveis evita a recusa, sendo essa exigência observada em diversas legislações, as quais adotam valores inferiores a 2 UNT. Considerando que o Ministério da Saúde (BRASIL, 2017) exige um valor máximo permissível de 5 UNT na água distribuída, e que, em 2019, 98,8 % das amostras analisadas

em Fortaleza atendem a esta condição (CAGECE, 2019), é factível considerar a turbidez permissível como igual a este valor.

Semelhante aos valores para turbidez, a Cagece (2019) obteve um índice de atendimento de 89,6 % para a cor, garantindo, assim, que a água distribuída possui cor inferior a 15 UC, em acordo com as recomendações do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017). Não há nas legislações sobre águas cinza a exigência de verificações deste parâmetro. Todavia, é coerente a sua verificação, de forma a evitar qualquer recusa do efluente pelos usuários, devido aos aspectos físicos.

Excessos de material orgânico na água podem modificar a capacidade de retenção de água do solo, bem como a capacidade das partículas de se moverem através dele. Além disso, a decomposição microbiana pode reduzir os níveis de oxigênio dissolvido na água, criando condições de anaerobiose, que liberam gases tóxicos no ambiente (ERIKSSON *et al.*, 2002). Outro aspecto relevante que justifica a adoção de baixos teores de matéria orgânica está relacionado à eficiência dos processos de desinfecção. Quanto mais rico em matéria orgânica for o efluente, maior a adição de cloro necessário para remoção dos microrganismos patogênicos (GROSS *et al.*, 2015).

Para esgotos domésticos, estima-se uma razão DQO/DBO entre 1,5 e 1,9 (SANT'ANNA JUNIOR, 2010). Entretanto, esta relação varia quando se trata de águas cinza. Friedler (2004), ao realizar a caracterização dos efluentes de chuveiros e lavatórios, obteve os valores de DBO e DQO totais e filtrados constantes da Tabela 12.

Tabela 12 – Valores médios de DQO e DBO e respectivos desvios padrões (entre parênteses) e relações DQO/QBO, por fonte de coleta

| Fonte | DQO _t | DQO _f | DBO _t | DBO _f | DQO _t /DBO _t | DQO _f /DBO _f |
|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Chuveiro | 645 (289) | 319 (218) | 424 (219) | 237 (125) | 1,52 | 1,35 |
| Lavatório | 386 (230) | 270 (173) | 205 (42,5) | 93 (57,3) | 1,88 | 2,90 |

Valores em mg/L; DQO_t – DQO total; DQO_f – DQO filtrada; DBO_t – DBO total; DBO_f – DBO filtrada.
Fonte: Adaptado de Friedler, 2004.

Gross *et al.* (2015) reiteram o contraste entre a razão DQO/DBO entre as fontes de águas cinza e pesquisas, apresentando razão média entre 1,6 e 2,8 para águas cinza em mistura, 2,8 ($\pm 1,0$) para águas cinza provenientes do chuveiro e 3,6 ($\pm 1,6$) do lavatório.

Pela facilidade e rapidez na obtenção dos resultados, é prática cotidiana a realização apenas de ensaios de QDO, sendo que as legislações consultadas exigem valores máximos de matéria orgânica baseados nos ensaios de DBO. Com razões DQO/DBO

conhecidas é possível relacionar os ensaios sem perda significativa de representatividade. Será considerada uma razão igual a 1,7 para a determinação dos valores de referência.

Capazes de gerar entupimentos em tubulações, os sólidos suspensos totais (SST) devem ser considerados parâmetro de referência. Os SST são provenientes, principalmente, de restos de comida, areia, cabelo, resíduos de pele e fibras provenientes da máquina de lavar roupas. Este último, em conjunto com as águas da cozinha, são as maiores fontes destes poluidores (ERIKSSON, 2002). Por ser constituído de partículas visíveis, pode causar recusa por parte dos usuários.

A condutividade elétrica (CE) tem importância especial para este projeto já que há previsão de uso das águas cinza para irrigação de jardins. A CE serve de referência para medir a concentração de sais na água, o que pode provocar danos ao solo e à vegetação.

Quanto maiores as concentrações de sais, maior deve ser a condutividade elétrica. As principais fontes de sais para águas cinza são o sódio, nitrogênio e fósforo, encontrados em detergentes e produtos de limpeza corporal. Quando de sua utilização na irrigação, é importante se avaliar as concentrações de sódio, cloreto e boro. Uma relação rápida entre as concentrações de sólidos dissolvidos totais (SDT) e a condutividade elétrica é apresentada por Gross et al. (2015) onde 1 mS/cm equivale a uma concentração de aproximadamente 650 mg/L de sais.

Se relacionarmos os valores de CE e SDT exigidos pela resolução conjunta SES/SMA/SSRH N° 01 (ver Tabela 2), percebe-se que a relação 1 mS/cm – 650 mg/L é intercambiável. Assim, serão considerados os valores mais e menos restritivos apresentados nas Tabela 2 e Tabela 3, para a condutividade elétrica, como sendo os padrões sugeridos. A adoção do parâmetro CE como representativo do teor de sais se dá pela facilidade de experimentação.

A principal fonte de óleos e graxas (TOG) são os óleos e gorduras utilizados no preparo de alimentos, além de resíduos presentes no corpo e nas roupas, oriundos da transpiração humana (BAZZARELLA, 2005). Esses compostos podem diminuir a eficiência de tratamentos biológicos, tornando-se, portanto, um parâmetro de análise. Como nenhuma das legislações que tratam exclusivamente do reúso de águas cinza restringe valores para TOG, adotou-se como parâmetro de referência apenas para situações mais restritivas. Na Tabela 2 são apresentados os valores adotados, baseados na resolução Conama n° 430 (BRASIL, 2011).

Para Souza et al. (2019), ovos de helmintos são um parâmetro relevante como indicador de qualidade de esgoto, apesar de menos usual. Ovos de helmintos servem de

indicador da presença de patógenos mais resistentes que podem gerar riscos à saúde. O decreto real espanhol recomenda valores inferiores a 0,1 ovos por litro, enquanto as demais regulações exigem valores inferiores a 1,0 ovo/litro. Estes valores foram considerados como referência.

A desinfecção por cloro é notadamente eficiente na remoção de patógenos, entretanto, quando em excesso, o cloro pode gerar desconforto aos usuários, conforme observado por Domènech et al. (2015), os quais, em pesquisa realizada em Sant Cugat del Vallès, Espanha, este foi um dos maiores problemas relatados pelos usuários. O mesmo desconforto foi observado na ETAC do Condomínio Residencial Villa Toscana. O sistema não funciona nos fins de semana, gerando, portanto, um volume acumulado de águas cinza bruta com reservação superior a 48 horas. Devido a reservação, havia um desconforto devido ao cheiro forte causado pela decomposição anaeróbia. Para evitar o desconforto, os operadores do sistema lançam volumes elevados de cloro líquido dentro do reservatório (R4), o que também gera desconforto com o forte cheiro das reações geradas.

Com o exposto, limitar os teores de cloro residual é essencial. Dentre as legislações internacionais, apenas a norma BS 8525-1 (BSI, 2010) possui valores de referência, enquanto, nacionalmente, há recomendações que variam entre teores superiores a 0,5 e inferiores a 1,0 mg/L.

Uma outra fonte de recusa devido a odores é a presença de compostos de enxofre e nitrogênio, seguindo esta ordem de importância. Os compostos de nitrogênio, oriundos, principalmente, da micção no banho e pelo uso de certos produtos de limpeza, são de interesse, por estarem envolvidos, junto com a matéria orgânica e o enxofre, na formação de compostos cujo odor é desagradável, como o ácido sulfídrico (H_2S) e amônia (NH_3) (OLIVEIRA, 2015).

Apesar da evidente importância, dentre as normas específicas para reúso, apenas a China (LYU et al., 2016) adota limites para o nitrogênio amoniacal. Para o enxofre, não há menções. Serão propostos valores apenas para o padrão mais restritivo.

Efluentes com temperatura superior a 30 - 40 °C favorecem o desenvolvimento de microrganismos, além de induzir, em águas supersaturadas, a precipitação da calcita, gerando problemas de entupimento em reservatórios de acumulação e tubulações de transporte (ERIKSSON et al., 2002; GROSS et al., 2015). As resoluções Conama nº 430 (BRASIL, 2011) e a legislação da CETESB (SÃO PAULO, 1976) trazem limites de temperatura para o despejo de efluentes em corpos receptores. Estes limites são levados em consideração na Tabela 13.

Na Tabela 13 é apresentada proposta de valores de referência para as condições mais e menos restritivas dos principais parâmetros físicos, químicos e biológicos de águas cinza.

Tabela 13 – Valores de referência propostos para utilização de águas cinza.

| Parâmetro | Unidade | Valor de referência | |
|---|------------|---------------------------|---------------------------|
| | | + restritivo ¹ | - restritivo ² |
| Turbidez | UNT | ≤ 2,0 | ≤ 5,0 |
| Cor | UC | ≤ 15,0 | ≤ 15,0 |
| pH | - | 6,0 a 8,5 | 5,0 a 9,0 |
| Coliformes termotolerantes (CTT) | UFC/100 mL | ≤ 200 | ≤ 1000 |
| Teor de matéria orgânica (DBO) | mg/L | ≤ 10 | ≤ 60 |
| Teor de matéria orgânica (DQO) ³ | mg/L | ≤ 17 | ≤ 102 |
| Sólidos suspensos totais (SST) | mg/L | ≤ 1,0 | ≤ 10 |
| Ovos de helmintos | Ovo/L | ≤ 1,0 | ≤ 1,0 |
| Temperatura (T) | °C | ≤ 40 | ≤ 40 |
| Condutividade elétrica (CE) | µS/cm | ≤ 700 | ≤ 3000 |
| Nitrogênio amoniacal (N-NH ₃) | mg/L | ≤ 10 | - |
| Óleos e graxas (TOG) | mg/L | ≤ 20 | - |
| Cloro residual livre | mg/L | 0,5 a 1,0 | 0,5 a 2,0 |

¹ Proposta de valores para o uso irrestrito (irrigação de gramados e jardins ornamentais).

² Valores propostos para usos menos restritivos como a descarga em vasos sanitários.

³ Valores baseados em uma conversão entre os valores de DBO e a razão DQO/DBO adotada de 1,7.

Fonte: O autor (2020).

4.2 Análise qualitativa das águas cinza sem tratamento

Neste item discute-se a caracterização qualitativa das águas cinza bruta e tratada da edificação em estudo. As características determinadas para o efluente bruto são comparadas com as obtidas por Eriksson et al. (2002), Friedler (2004), Bazzarella (2005), Fiori, Fernandes e Pizzo (2006) e Santasmasas et al. (2013), os quais caracterizaram os efluentes brutos provenientes de lavatórios e chuveiros, de forma semelhante ao objeto desta pesquisa. Já as águas cinza tratadas (item 4.3) são comparadas com os parâmetros limites propostos, cujos valores estão disponíveis na Tabela 13.

4.2.1 Características físicas

Os valores determinados para as características físicas das águas cinza sem tratamento constam da Tabela 14.

Tabela 14 – Características físicas das águas cinza sem tratamento. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.

| Parâmetro | Unidade | n | Média | DV | CV (%) | Mín. | Máx. |
|-------------|---------|---|-------|------|--------|-------|------|
| Temperatura | °C | 6 | 27,2 | 0,8 | 2,9 | 25,5 | 27,8 |
| CE | μS/cm | 7 | 773 | 94 | 12,2 | 577 | 874 |
| Cor | UC | 5 | 41,2 | 20,8 | 161,7 | 15,9 | 68,5 |
| Turbidez | UNT | 6 | 15,8 | 16,1 | 101,7 | 2,4 | 38,3 |
| SS | mg/L | 6 | < 0,1 | 0,0 | - | < 0,1 | 1,5 |
| SST | mg/L | 6 | 223 | 62 | 27,8 | 120 | 284 |
| ST | mg/L | 6 | 511 | 17 | 3,2 | 488 | 526 |
| TOG (ppm) | mg/L | 7 | 2,9 | 2,1 | 74,1 | 0,0 | 5,5 |

Legenda: CE - Condutividade elétrica; SS - Sólidos sedimentáveis; SST - Sólidos suspensos totais; ST - Sólidos totais; TOG - Teor de óleos e graxas; n – Número de amostras; DV – Desvio padrão amostral; CV – Coeficiente de variação.

Fonte: O autor (2020).

Com uma temperatura média de 27,2 °C e baixo coeficiente de variação (CV de 2,9 %), o parâmetro está dentro da faixa pesquisada por Eriksson *et al.* (2002), que encontraram temperatura variando entre 18 e 38 °C. A média de consumo de água quente diária é de 27 a 30 Lpcd, valor correspondente a aproximadamente 20 % do consumo diário total. Com base nestes dados, é razoável prever uma baixa variação horária para o condomínio em estudo.

Com uma condutividade elétrica média de 773 μS/cm, inferior aos valores obtidos por outros autores (ver Tabela 1), pode indicar uma baixa concentração de sais como o sódio, nitrogênio e fósforo. Entretanto, seus valores, superiores aos normativos, requerem atenção. Deve-se tomar cuidados com a CE, visto que podem causar danos ao solo e vegetação.

Parâmetros que podem gerar recusa da população quanto ao aspecto das águas cinza, como a cor (41,2 UC) e a turbidez (15,8 UNT), estão acima dos limites recomendados para padrões de potabilidade de água (BRASIL, 2017), sendo requerido o tratamento para redução de seus valores a níveis aceitáveis. Ambos são bastante variáveis entre as amostras, com coeficientes de variação superiores a 100 %. Estes resultados discrepantes são corroborados por Bazzarella (2005) e Eriksson *et al.* (2002), cujos resultados possuem desvio padrão elevado e discrepante entre as diferentes fontes do efluente.

Os teores de sólidos sedimentáveis são baixos, com máximos de 1,5 mL/L no ensaio do cone de Imhoff e média inferior à graduação do cone. Não houve significativa variação de valores, visto que apenas uma das amostras teve valores passíveis de leitura no equipamento. Os valores elevados de sólidos sedimentáveis de uma única amostra se justifica

devido à condição do reservatório no dia da coleta cujo volume estava baixo e revolvido devido um procedimento de limpeza. Já sólidos suspensos e totais possuem valores ligeiramente inferiores aos obtidos por Friedler (2004), de 320 mg/L, e superiores à pesquisa de Fiori, Fernandes e Pizzo (2006), cujo valores correspondem às águas cinza do chuveiro coletadas na caixa sifonada dos banheiros residenciais.

Os baixos teores de óleos e graxas podem ser atribuídos ao tempo de reservação no reservatório, favorecendo à flutuação dos mesmos e, assim, seu não encaminhamento ao sistema de tratamento (ETAC). Como a coleta se deu sempre no nível da tubulação de recalque, é provável que o efluente mais superficial possua valores compatíveis aos obtidos por Fiori, Fernandes e Pizzo (2006) e Bazzarella (2005).

4.2.2 Características químicas

As características químicas determinadas para as águas cinza sem tratamento constam da Tabela 15.

Tabela 15 – Características químicas das águas cinza sem tratamento. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.

| Parâmetro | Unidade | n | Média | DV | CV (%) | Mín. | Máx. |
|-------------------|---------|---|---------|---------|--------|------|---------|
| pH | - | 7 | 6,63 | 0,37 | 5,6 | 6,17 | 7,39 |
| DQO | mg/L | 6 | 101 | 71 | 70,4 | 25 | 207 |
| DQO _f | mg/L | 6 | 40 | 8 | 19,5 | 28 | 50 |
| N-NH ₃ | mg/L | 6 | 5,32 | 1,74 | 32,6 | 3,32 | 8,87 |
| Ortofosfato | mg/L | 7 | 5,10 | 8,34 | 163,2 | 0,01 | 21,64 |
| Nitrito | mg/L | 7 | 53,6 | 115,1 | 214,8 | 0,8 | 335,3 |
| Nitrato | mg/L | 7 | 57,1 | 87,8 | 153,7 | 2,2 | 259,1 |
| Cloretos | mg/L | 7 | 10837,6 | 17704,5 | 163,4 | 8,4 | 51689,9 |
| Sulfato | mg/L | 7 | 49,0 | 27,9 | 26,8 | 25,2 | 97,0 |

Legenda: DQO - Demanda química de oxigênio; DQO_f – Demanda química de oxigênio, amostra filtrada; N-NH₃ - Nitrogênio amoniacal; n - Número de amostras; DV – Desvio padrão amostral; CV - Coeficiente de variação.

Fonte: O autor (2020).

O pH do efluente médio determinado é ligeiramente ácido (6,63) e possui baixo coeficiente de variação. Este valor de pH está dentro dos valores obtidos por Eriksson et al. (2002) – entre 5,0 e 8,7. O pH das águas cinza depende do pH da água potável fornecida, cuja recomendação do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011b) é manter um pH entre 6,0 e 9,5 em todo o sistema de distribuição.

Alguns produtos químicos podem elevar o valor do pH, tornando-o alcalino. A alcalinização do pH, em ambiente doméstico, pode ser atribuída à utilização do sabão em pó e amaciante na lavagem de roupas. Se tratando de um efluente em mistura e sem contribuição da máquina de lavar, espera-se que o pH se mantenha próximo aos valores da água potável distribuída.

Com a ausência das contribuições dos vasos sanitários, foram obtidos valores de DQO para as águas cinza entre 70 e 85 % inferiores aos encontrados em esgotos domésticos bruto, que variam entre 360 e 600 mg/L (VON SPERLING, 2005).

Friedler et al. (2006) caracterizaram a água cinza em relação a DBO e DQO, total e filtrada. Os autores obtiveram valores de 69 (33) e 36 (20) para DBO total e filtrada, respectivamente, e de 211 (141) e 108 (47) para DQO total e filtrada, respectivamente. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão amostral determinado pelos autores. Conforme Gross et al. (2015), a variação de matéria orgânica pode chegar a centenas de miligramas por litro.

Ao realizar ensaios de DQO total e filtrada é possível estimar a presença de matéria orgânica dissolvida, de fácil degradação e a parcela de menor biodegradabilidade. A QDO_f da pesquisa corresponde a aproximadamente 40 % da DQO total, mostrando que o remanescente corresponde à matéria orgânica na forma dissolvida.

As concentrações de nitrogênio em águas cinza são bem inferiores às encontradas no esgoto bruto (GROSS et al., 2015). É provável que a maior parte do nitrogênio presente no efluente bruto analisado seja proveniente da concentração de urina. É possível que os hábitos locais e a consciência ambiental sejam os responsáveis por uma maior ou menor concentração do poluente. Em 2009, tiveram início campanhas para incentivar a população a urinar durante o banho com a finalidade de reduzir o número de descargas diárias (NOGUEIRA, 2009).

Os valores de nitrogênio obtidos por Friedler (2004), 1,15 mg/L (nitrogênio amoniacal), e por Santasmasas *et al.* (2013), 23 mg/L (nitrogênio total) podem dar uma indicação dos hábitos locais em Israel e Síria, respectivamente. Os valores para nitrogênio amoniacal obtidos no condomínio se aproximam dos valores de Friedler, com média de 5,32 mg/L e máximo de 8,87 mg/L, valores estes inferiores às concentrações máximas permitidas pelas legislações consultadas.

A urina é a fonte de 90 % da carga de nitrogênio e de 50 % da carga de fósforo de esgotos brutos. Nos esgotos domésticos predominam os compostos de nitrogênio de

origem orgânica e o fósforo de origem inorgânica, provenientes, sumariamente, do uso de detergentes e determinados agentes de limpeza (QUEIROZ et al., 2019).

Há predominância de fósforo na forma de ortofosfatos nos esgotos domésticos. Estima-se que entre 65 e 75 % do fósforo presente no esgoto doméstico estão na forma inorgânica (ortofosfato) (SOUZA et al., 2019).

A presença de nitrogênio no esgoto pode se dar em quatro graus de oxidação, conforme Von Sperling (2005), a depender do pH do efluente: nitrogênio amoniacal (NH_3 e NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), além do nitrogênio orgânico. Em efluentes com pH inferior a 8, espera-se que praticamente toda a amônia disponível seja na forma de NH_4^+ .

Os compostos de enxofre, relevantes no gerenciamento dos sistemas de tratamento, podem ser divididos em sulfatos e sulfetos. O sulfato tem origem inicial da água de abastecimento – maior dureza, maior concentração de sulfato. Sua concentração é elevada quando da adição de sulfato de alumínio para tratamento do efluente. A concentração média de sulfato observada no efluente bruto foi de 49,0 mg/L e desvio padrão de 27,9 mg/L. Estes valores podem sofrer redução devido à conversão do sulfato em sulfeto. Em ambientes com pH inferior a 7,00 há conversão do sulfato em sulfeto na forma de H_2S , cujo odor é característico. De forma a evitar essa conversão, pode-se controlar o pH, garantindo ambiente com pH mais básico (SOUZA et al., 2019). Outra maneira, é reduzir o tempo de reservação de forma a evitar as condições de anaerobiose no reservatório.

4.2.3 Características microbiológicas

As características microbiológicas determinadas para as águas cinza antes do tratamento estão apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 – Características microbiológicas das águas cinza sem tratamento. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.

| Parâmetro | n | Média | DV | CV (%) | Mín. | Máx. |
|------------------|----------|--------------|-----------|---------------|-------------|-------------|
| CTT* | 7 | 5,16 | 0,61 | 11,9 | 4,00 | 5,95 |
| E. coli | 7 | ND | 0,00 | - | ND | 10^4 |

*Parâmetros em unidade logarítmica (\log_{10} UFC/100 mL).

Legenda: CTT – Coliformes Termotolerantes; n – Número de amostras; ND – Não detectado; DV – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação.

Fonte: O autor (2020).

Por mais que não recebam contribuições das bacias sanitárias, verifica-se a presença de patógenos em águas cinzas possivelmente provenientes das fezes expelidas durante os procedimentos de higiene corporal, limpeza das mãos após uso do banheiro, além da lavagem de roupas e manipulação de alimentos (OLIVEIRA, 2015). Vuppaladadiyam et al. (2019) apresentam valores médios para coliformes fecais em águas cinza de 6 unidades logarítmicas, mesma ordem de grandeza atribuída a *E. coli*. Não muito diferente foram os resultados desta pesquisa para coliformes termotolerantes, 5,16 unidades e CV de 11,9 %.

Para *Escherichia coli*, a densidade máxima determinada foi de 4 unidades logaritmo, com não detecção como valor médio. Uma das explicações para a ausência deste grupo de bactérias é a adição de cloro ainda no reservatório de captação com a finalidade de reduzir o odor da decomposição anaeróbia. Apesar dessa cloração inicial, a presença de matéria orgânica e turbidez superior a 1 UT reduzem a eficiência da desinfecção, por isso se mantêm valores elevados para coliformes.

Apesar de redundante, cabe advertir que a adição de cloro no reservatório inicial não é condição prevista em projeto. Essa ação se fez necessária devido ao tempo de retenção do efluente bruto superior a 48 horas, visto que a estação não opera aos fins de semana.

4.3 Análise qualitativa das águas cinza tratadas

Na Tabela 17 apresenta-se uma descrição estatística das características determinadas para as águas cinza tratadas.

Tabela 17 – Características das águas cinzas tratadas. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.

| CARACTERÍSTICAS FÍSICAS | | | | | | | |
|--------------------------|---------|---|-------|------|--------|------|------|
| Parâmetro | Unidade | n | Média | DV | CV (%) | Mín. | Máx. |
| T | °C | 7 | 27,5 | 0,6 | 2,3 | 26,4 | 28,2 |
| CE | µS/cm | 7 | 711 | 81 | 11,4 | 613 | 805 |
| Cor | UC | 6 | 14,7 | 5,5 | 37,7 | 11,7 | 25,8 |
| Turbidez | UNT | 7 | 2,0 | 1,7 | 82,5 | 1,1 | 5,7 |
| SS | mg/L | 7 | < 0,1 | - | - | - | - |
| SST | mg/L | 6 | 56 | 48 | 85,0 | 8 | 142 |
| ST | mg/L | 6 | 162 | 227 | 140,7 | 16 | 606 |
| TOG (ppm) | mg/L | 7 | 1,4 | 1,4 | 103,3 | 0,0 | 3,6 |
| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS | | | | | | | |
| Parâmetro | Unidade | n | Média | DV | CV (%) | Mín. | Máx. |
| pH | - | 7 | 6,51 | 0,20 | 3,0 | 6,16 | 6,80 |
| DQO | mg/L | 7 | 39 | 13 | 33,5 | 24 | 61 |
| DQOf | mg/L | 7 | 52 | 14 | 26,0 | 40 | 76 |
| N-NH ₃ | mg/L | 7 | 1,16 | 1,25 | 107,5 | 0,10 | 3,88 |

(continua)

(conclusão)

| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------|---|--------|--------|--------|-------|--------|
| Parâmetro | Unidade | n | Média | DV | CV (%) | Mín. | Máx. |
| Ortofosfato | mg/L | 7 | 0,10 | 0,18 | 173,6 | ND | 0,45 |
| Nitrito | mg/L | 7 | 3,84 | 0,06 | 1,7 | 3,76 | 3,93 |
| Nitrato | mg/L | 6 | 14,91 | 10,62 | 71,2 | 0,47 | 27,04 |
| Cloretos | mg/L | 7 | 2712,8 | 2211,8 | 81,5 | 171,0 | 5814,1 |
| Sulfato | mg/L | 7 | 48,4 | 27,2 | 56,2 | 23,9 | 98,1 |
| CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS | | | | | | | |
| Parâmetro | Unidade | n | Média | DV | CV (%) | Mín. | Máx. |
| CTT | Log(UFC/100 mL) | 7 | 1,10 | 0,91 | 83,0 | ND | 2,18 |
| E. Coli | Log(UFC/100 mL) | 7 | ND | - | - | - | - |

Legenda: T – Temperatura; CE – Condutividade elétrica; SS - Sólidos sedimentáveis; SST - Sólidos suspensos totais; ST - Sólidos totais; TOG - Teor de óleos e graxas; ppm – Partes por milhão; DQO – Demanda química de oxigênio; DQO_f - Demanda química de oxigênio, amostra filtrada; N-NH₃ - Nitrogênio amoniacal; ND – Não detectado; n – Número de amostras; DV – Desvio padrão amostral; CV – Coeficiente de variação.

Fonte: O autor (2020).

Após a realização do tratamento das águas cinza por meio de processos físico-químicos, constatou-se uma redução nas concentrações da maioria dos parâmetros.

Dentre os parâmetros físicos verificados, há redução em todos, exceção à temperatura, com leve aumento (1,0 %), possivelmente devido às reações químicas de oxidação e redução realizadas durante o tratamento com sulfato de alumínio e cloro. A turbidez foi o parâmetro físico com maior redução, com média, pós tratamento, de 2,0 UNT.

Os sólidos suspensos e totais, do mesmo modo, tiveram reduções significativas, de quase 75 %, que, em conjunto com a cor e a turbidez, resultaram em um líquido clarificado. A cor aparente média foi de 14,7 UC.

Observou-se uma redução de 1,8 % no pH, após o tratamento. Essa redução pode ter ocorrido por influência do procedimento de coagulação utilizado. Os sais de alumínio presentes no coagulante possuem caráter ácido e, ao serem adicionados à água, podem reagir com a alcalinidade natural, reduzindo o pH do meio.

Os demais parâmetros químicos tiveram maiores reduções, ocorrendo diminuição de até 62 mg/L na DQO total e 4,16 mg/L no nitrogênio amoniacal.

O processo de tratamento do efluente com coagulação, filtração dupla e desinfecção foram capazes de remover substancialmente os contaminantes químicos, além de melhorar sua aparência.

A desinfecção, tendo como função básica a remoção de patógenos, foi eficiente na remoção da E. coli, já no “pré tratamento” – adição de cloro no reservatório R4, além de remoção média de 4 unidades logaritmo para os coliformes termotolerantes, pós tratamento.

4.4 Eficiência do sistema de tratamento e atendimento aos parâmetros propostos para uso de águas cinza

Realizando uma análise numérica, é possível observar reduções nas concentrações da maioria dos parâmetros testados, conforme Tabela 18.

As maiores reduções percentuais são observadas nos parâmetros físicos, como a turbidez, reduzida em quase 90 %, e a cor, com - 64,3 % após o tratamento.

Tabela 18 – Valores médios para águas cinza bruta e tratada, com suas respectivas variações pós tratamento. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.

| Parâmetro | Unidade | Efluente bruto | Efluente tratado | Variação | |
|-----------------------|--------------|----------------|------------------|----------|------------|
| | | | | Numérica | Percentual |
| T | °C | 27,2 | 27,5 | + 0,3 | 1,0% |
| CE | µS/cm | 773 | 711 | - 62 | -8,0% |
| Cor | UC | 41,2 | 14,7 | - 26,5 | -64,3% |
| Turbidez | UNT | 15,8 | 2,0 | - 13,8 | -87,3% |
| SS | mg/L | < 0,10 | < 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| SST | mg/L | 223 | 56 | - 167 | -74,9% |
| ST | mg/L | 511 | 162 | - 350 | -68,4% |
| TOG (ppm) | mg/L | 2,9 | 1,4 | - 1,5 | -51,8% |
| pH | - | 6,63 | 6,51 | - 0,12 | -1,8% |
| DQO | mg/L | 101 | 39 | - 62 | -61,3% |
| DQO _f | mg/L | 40 | 52 | + 12 | 30,5% |
| N-NH ₃ | mg/L | 5,32 | 1,16 | - 4,16 | -78,2% |
| Ortofosfato | mg/L | 5,10 | 0,10 | - 5,00 | -98,0% |
| Nitrito | mg/L | 7,19 | 3,84 | - 3,35 | -46,6% |
| Nitrato | mg/L | 27,58 | 14,91 | - 12,67 | -45,9% |
| Cloretos ¹ | mg/L | 10837,6 | 2712,8 | - 8124,7 | -75,0% |
| Sulfato | mg/L | 49,0 | 48,4 | - 0,6 | -1,4% |
| CTT | ² | 5,16 | 1,1 | - 4,06 | -78,7% |
| E. Coli | ² | ND | ND | 0,00 | 0,00 |

¹ Valores elevados no efluente bruto provenientes da adição de cloro no reservatório inicial como alternativa ao mau cheiro gerado devido ao tempo elevado de reservação.

² Unidade de medida: Log(UFC/100 mL).

Legenda: T – Temperatura; CE – Condutividade elétrica; SS - Sólidos sedimentáveis; SST - Sólidos suspensos totais; ST - Sólidos totais; TOG - Teor de óleos e graxas; ppm – Partes por milhão; DQO – Demanda química de oxigênio; DQOf - Demana química de oxigênio, amostra filtrada; N-NH₃ - Nitrogênio amoniacal; CTT – Coliformes termotolerantes, em NMP/100mL; ND – Não detectado.

Fonte: O autor (2020).

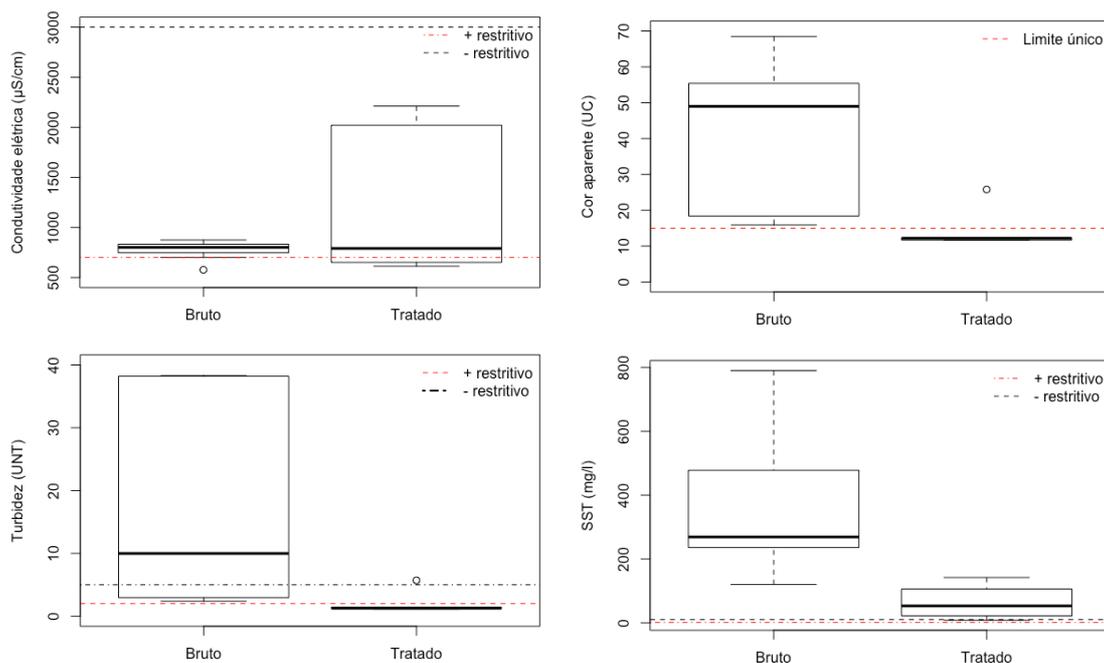
As Figuras 5 a 7 apresentam, na forma de *boxplot*, as variações dos parâmetros determinados, antes e após o tratamento, e os valores propostos neste trabalho (item 4.1) para limites mais ou menos restritivos para o uso de águas cinza. As linhas horizontais indicam os limites mais e menos restritivos propostos na Tabela 13.

Quando é indicada apenas uma linha horizontal, com a legenda ‘limite único’, significa que o valor é limitante para ambas as situações de restrição. Quando a legenda indicar ‘+ restrito’, esse parâmetro é exigido apenas para essa situação, sendo seu valor livre para o uso menos restritivo.

Em relação aos parâmetros físicos, as características das águas cinza tratadas atendem a todos os limites menos restritivos, com exceção dos sólidos suspensos totais, que foram determinados com média superior ao limite proposto, apesar de se observar redução de 74,9 % entre as características do efluente bruto e tratado (de 223 para 56 mg/L).

Os resultados demonstram a dificuldade em atender aos limites mais restritivos, visto que apenas os valores de cor aparente e turbidez conseguiram manter as médias inferiores ao exigido. Valores de condutividade elétrica e sólidos suspensos totais não atenderam aos valores limites propostos. Ainda assim, não há registro de queixas ou problemas quanto ao sistema de reúso.

Figura 5 - Análise de atendimento aos limites propostos para parâmetros físicos. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.

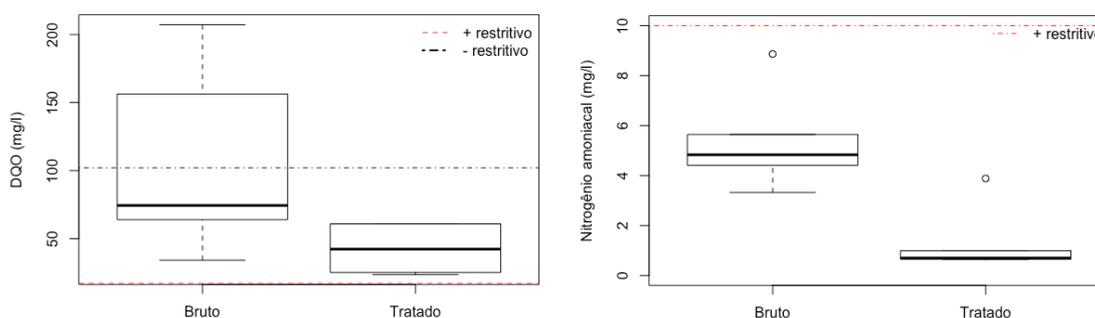


Fonte: O autor (2020).

Neste trabalho foram propostos dois parâmetros limites para características químicas: o teor de matéria orgânica, medida em termos de DQO total, e a concentração de nitrogênio amoniacal. Este último é exigido apenas para a condição mais restritiva, sendo coerente sua adoção no caso de períodos longos de reservação, que podem favorecer a formação de amônia (NH_3). Os teores de nitrogênio obtidos nos efluentes bruto e tratado se mantêm abaixo do limite de 10 mg/L.

Valores muito restritivos para a matéria orgânica são difíceis de ocorrer para o tratamento das águas cinza existente no condomínio, que não prevê sistemas biológicos. Ainda assim, observou-se uma remoção significativa nos teores de matéria orgânica, capaz de adequar o efluente à condição menos restritiva (< 102 mg/L). Os valores médios de DQO para a água cinza bruta, considerada um efluente de baixa carga, já estão abaixo da referência. Ainda assim, o tratamento foi eficiente, garantindo o atendimento à proposta para limite menos restritivo em 100 % das amostras (Figura 6).

Figura 6 - Análise de atendimento aos limites propostos para parâmetros químicos. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.

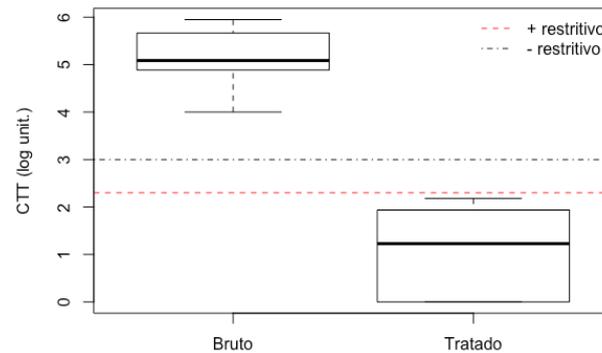


Fonte: O autor (2020).

Como parâmetros microbiológicos, foram propostos limites para os coliformes termotolerantes e os ovos de helmintos (Tabela 13). Neste trabalho, não foi possível a caracterização dos efluentes para ovos de helmintos, por falta de equipamentos para sua medição no laboratório.

Considerando apenas os coliformes termotolerantes, a ETAC é capaz de reduzir, em média, até 4 unidades logaritmo, garantindo o atendimento à condição menos restritiva (Figura 7). A ausência de coliformes foi observada em apenas 1/3 das amostras.

Figura 7 - Análise de atendimento aos limites propostos para coliformes termotolerantes. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.



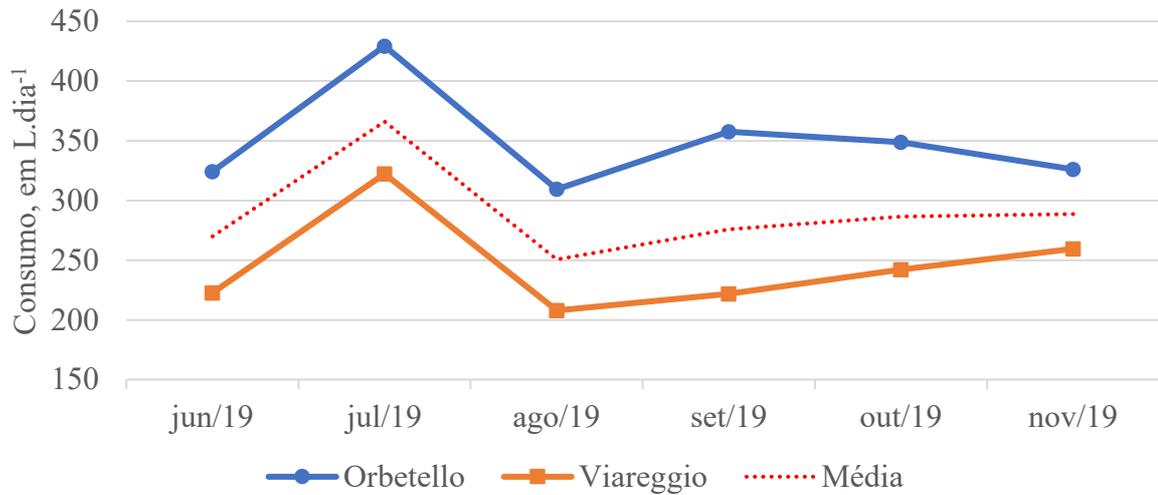
Fonte: O autor (2020).

4.5 Análise quantitativa

Avaliando os consumos de água potável, observam-se maiores consumos na torre Orbetello, quando comparados aos da torre Viarregio, conforme Figura 8. Nota-se uma elevação dos consumos nos períodos de férias e recesso escolar, com picos de quase 450 litros por apartamento por dia, e média diária variando entre 251 e 366 L/dia. Estes valores não consideram os consumos para descarga em vasos sanitários, já que estes são abastecidos pelo sistema de reúso de águas cinza.

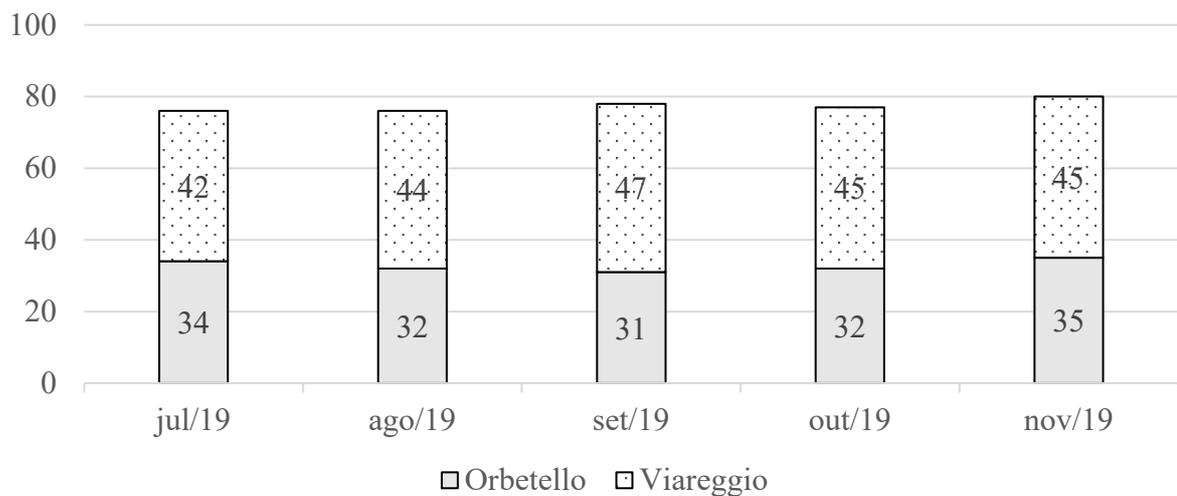
O empreendimento possui uma vacância média de 38 %, podendo-se observar o número de apartamentos com consumo, em cada torre, na Figura 9. Ignorando os apartamentos sem consumo, há, em média, 3 habitantes por apartamento, com máximo e mínimo, respectivamente, de 8 e 1 usuários.

Figura 8 - Consumo médio diário por apartamento, em litros por dia. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.



Fonte: O autor (2020).

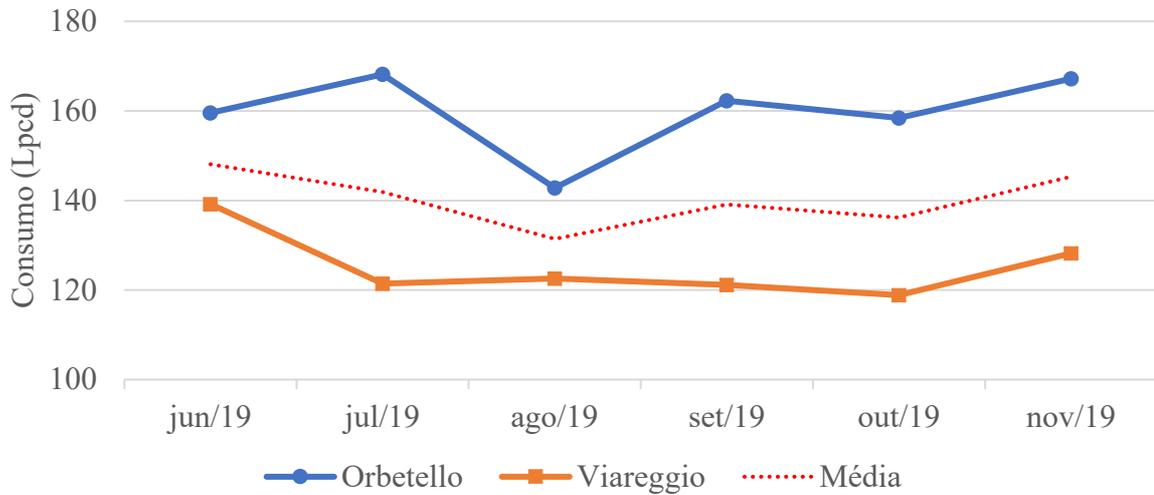
Figura 9 - Número de apartamentos ocupados, por torre. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.



Fonte: O autor (2020).

Com base no número de usuários e no consumo médio diário por apartamento, foi possível estimar os consumos *per capita* por torre e geral, mês a mês, conforme Figura 10. Apesar da óbvia relação entre o consumo *per capita* e o consumo médio diário, nota-se um crescente no consumo *per capita*, inclusive com valores superiores ao mês de julho - mês de maior consumo diário. O consumo médio *per capita* de água potável encontrado foi de 140,3 litros por dia.

Figura 10 - Consumo *per capita* por torre e consumo médio. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.



Fonte: O autor (2020).

Tomando como base o consumo médio *per capita* de 200 litros/dia, proposto por Macintyre (2010), e a distribuição dos consumos determinada por Barreto (2008), estimam-se 127,8 litros/dia como consumo *per capita* teórico para o condomínio em estudo, conforme Tabela 19. Este valor foi obtido desconsiderando os consumos da caixa acoplada (5,5 % de participação) e os “Outros usos” (30,6 %). O item “Outros usos” é entendido como os consumos externos, como rega de jardins, irrigação de gramados, limpeza de áreas externas etc., itens que, pela natureza do uso residencial, não constituem consumo interno dos apartamentos. Fazendo uma comparação entre o valor teórico (127,8 Lpcd) e medido (140,3 Lpcd), tem-se uma diferença percentual de 9,8 %.

Tabela 19 – Participação dos pontos de utilização no consumo médio diário – valor teórico

| Ponto De Utilização | Participação (%) | Consumo Per Capita (Lpcd) | Fonte De Abastecimento |
|-----------------------------|------------------|---------------------------|------------------------|
| Lavatório | 4,2 | 8,4 | Água potável |
| Tanque | 5,4 | 10,8 | 127,8 Lpcd |
| Tanque com máquina de lavar | 8,3 | 16,6 | |
| Tanquinho de lavar | 9,2 | 18,4 | |
| Máquina de lavar roupas | 10,9 | 21,8 | |
| Pia de cozinha | 12 | 24 | |
| Chuveiro | 13,9 | 27,8 | |

(continua)

(conclusão)

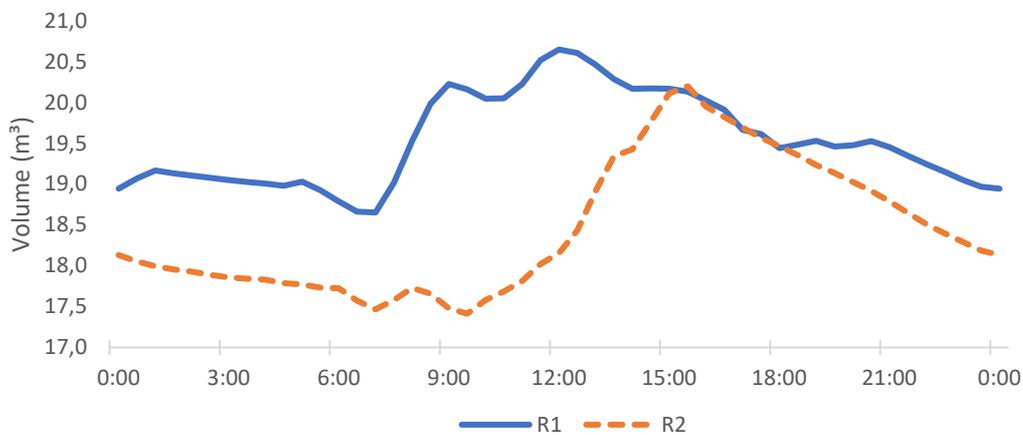
| Ponto De Utilização | Participação (%) | Consumo Per Capita (Lpcd) | Fonte De Abastecimento |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Caixa acoplada | 5,5 | 11 | Águas de reúso |
| Outros usos ¹ | 30,6 | 61,2 | 72,2 Lpcd |
| Total | 100 | 200 | |

Obs. Considerados como consumos externos: rega de jardins, limpeza de áreas externas, lavagem de carros, etc., apesar de não explícito por Barreto (2008).

Fonte: Adaptado de Barreto (2008) e Macintyre (2010).

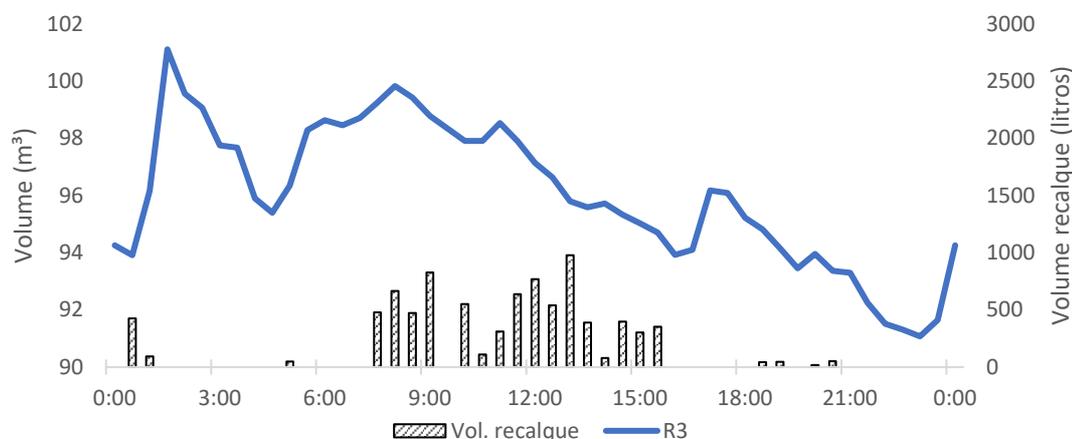
As variações de volume nos reservatórios de acumulação podem ser observadas na Figura 11. As tendências de queda no volume se dão devido ao consumo de águas cinza para descarga em vasos sanitários. É possível precisar os horários entre as 9h00 e 15h00 horas para acionamento da bomba de recalque para recarga. O reservatório R3 é responsável por abastecer os dois reservatórios superiores, além da irrigação direta do jardim. Na Figura 12 é possível observar a variação horária do volume do reservatório R3, assim como o volume de recalque para os reservatórios superiores.

Figura 11 - Variação horária dos reservatórios R1 e R2. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.



Fonte: O autor (2020).

Figura 12 - Variação horária do reservatório R3 e volumes de recalque para R1 e R2. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.



Fonte: O autor (2020).

No reservatório R3, em teoria, deve haver aumento no volume reservado apenas durante o período de tratamento das águas cinza, que foi programado para funcionar 8 horas por dia, entre as 08h00 e 16h00 horas; entretanto, durante o período de medição, a ETAC estava parada, por falta de insumos para seu funcionamento. Como alternativa de abastecimento, há uma bomba automática que abastece o R3 a partir de um poço profundo instalado no condomínio. Assim, o abastecimento ficou distribuído ao longo do dia, podendo gerar distorções entre o medido e o projetado inicialmente.

Após avaliar os reservatórios de armazenamento de águas de reúso, estima-se um consumo *per capita* médio de 25,3 Lpcd de águas cinzas para descargas dos vasos sanitários, com frequências de acionamento entre 4 e 5 vezes ao dia (ver Tabela 20). Considera-se, no cálculo da frequência, o consumo de 6 litros por descarga. Entretanto, os aparelhos sanitários instalados possuem duplo acionamento, podendo gerar uma frequência de uso entre 4 e 9 por usuário-dia. Concentrações de acionamento ocorrem no início da manhã, entre as 05h00 e 08h00 h, e entre as 16h00 e meia noite, com acionamentos regulares neste último período, conforme reduções de volume armazenado nos reservatórios R1 e R2 observadas na Figura 11.

Tabela 20 – Consumos no acionamento de aparelhos sanitários. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.

| Parâmetro | Torre Orbetello (R1) | Torre Viarregio (R2) |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Consumo diário (m ³) | 2,6 | 3,1 |
| População média (hab) | 98 | 126 |

(continua)

(conclusão)

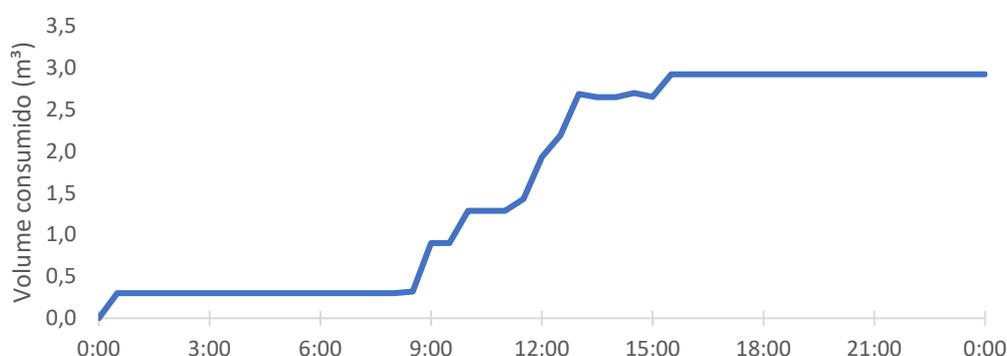
| Parâmetro | Torre Orbetello (R1) | Torre Viarregio (R2) |
|---|----------------------|----------------------|
| Consumo <i>per capita</i> (Lpcd) | 26,7 | 24,2 |
| Estimativa de acionamentos diários (6L/uso) | 4,45 | 4,03 |
| Estimativa de acionamentos diários (3L/uso) | 8,9 | 8,06 |

Fonte: O autor (2020).

Para a irrigação dos 4.400 metros quadrados de áreas verdes presentes no condomínio, são consumidos diariamente 2,92 m³ de águas cinzas, em média. Este valor corresponde a um consumo médio de 0,66 litros por metro quadrado. Este volume é consumido com intervalos regulares de rega entre as 08h30 e 15h30 horas, como pode ser observado nos volumes acumulados disponíveis na

Figura 13. Ao considerar uma população de 224 habitantes, tem-se um consumo *per capita* de 13,05 Lpcd apenas para o consumo na irrigação.

Figura 13 - Consumo médio acumulado na rega dos jardins. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.



Fonte: O autor (2020).

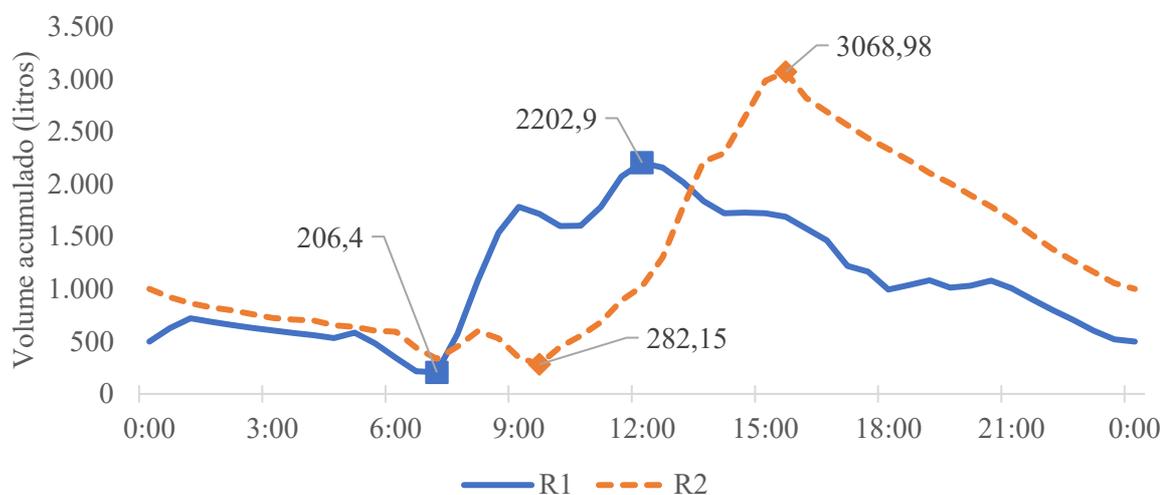
Considerando os consumos na descarga de vasos sanitários e na irrigação de jardins, tem-se um consumo *per capita* diário de 38,35 litros, inferior aos 72,2 litros estimados na Tabela 20. Isso pode se dar devido ao baixo consumo de água para irrigação, ou devido à conscientização da população quanto aos gastos desnecessários de água, visto que, ao somar os consumos de água potável e águas cinza, tem-se um *per capita* de 178,65 Lpcd.

Com um baixo valor de consumo de águas cinza, é possível prever uma redução significativa no tamanho da estação de tratamento, atualmente capaz de tratar 5 m³/h, sendo

que, por dia, são necessários apenas 8,6 m³ para atender a atual população residente. Se considerar-se a totalidade de quartos das duas torres (264 quartos) e admitindo-se 2 habitantes por quarto, tem-se uma população de 528 pessoas, totalizando um consumo de águas cinza diário de 16,3 m³, correspondendo a pouco mais de 40 % da capacidade de 40 m³ da estação (considerando apenas 8 horas diárias de funcionamento). Para reduzir custos de implantação e operação, deveria ser prevista uma estação similar com capacidade de produzir 2 m³ por hora, o que seria suficiente para o condomínio, ao funcionar por pouco mais de 8 horas diárias, reduzindo, por exemplo, o consumo energético dos atuais 3 kW.h para 1,5 kW.h, conforme catálogo do fabricante (ALFAMEC, 2017).

O diagrama de massas com a variação de volume acumulado dos reservatórios superiores (Figura 14) exhibe os pontos de mínimo e máximo observados, o que nos retorna ao volume realmente requerido pelos reservatórios para garantir o atendimento da população pelo período de 24 horas.

Figura 14 - Variação de volume (dV) diário acumulado. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.



Fonte: O autor (2020).

Para o reservatório R1, são requeridos 2,0 m³ por dia, enquanto para o R2, 2,8 m³ por dia (Tabela 21). Estes volumes correspondem a 6,5 dias de armazenamento na torre Viarregio e a 8 dias na torre Orbetello, o que é bem superior ao recomendado por Macintyre (2010), de 24 horas a 3 dias de reservação. Manter volumes armazenados por tempo superior a 48 horas pode gerar problemas relacionados ao aspecto estético do líquido armazenado, o que é importante para a aceitação do sistema de reúso (DIXON et al., 2000).

Tabela 21 – Volumes requeridos para os reservatórios R1 e R2 para a população atual e máxima, em m³. Condomínio Residencial Villa Toscana. Fortaleza / CE.

| Reservatório | Vol. Mínimo | Vol. Máximo | Armazenamento requerido | Armazenamento existente |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| R1 | 0,21 | 2,20 | 2,0 | 20,65 |
| R2 | 0,28 | 3,07 | 2,8 | 20,20 |

Fonte: O autor (2020).

Considerando que a ocupação do empreendimento no momento da pesquisa correspondia a 42,4 % da capacidade “máxima” (528 pessoas), pode-se estimar que o armazenamento máximo requerido pelos reservatórios R1 e R2 são, respectivamente, 4,7 e 6,6 m³/dia de reservação. Considerando 48 horas de reservação, seriam necessários reservar 9,4 e 13,2 m³ nos respectivos reservatórios.

Outra simulação é o caso em que os reservatórios possam passar 72 horas sem aportes e considerando a capacidade máxima do condomínio. Nessa situação, tem-se um consumo previsto de 7 m³/dia para R1 e 6,4 m³/dia para R2, com reservatórios com capacidade de armazenamento de 21 e 19,2 m³, respectivamente, o que se aproxima do armazenamento existente.

5 CONCLUSÕES

Para o residencial objeto de estudo o sistema de tratamento foi eficiente na redução dos principais parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, de forma a atender a requisitos mínimos de qualidade capazes de garantir a segurança dos usuários sem custos descomedidos.

Cuidados especiais devem ser tomados sobre os volumes de armazenamento e tempo de operação das estações de tratamento de águas cinza, evitando o início de processos anaeróbios causadores de odores indesejados.

O efluente bruto caracterizado possui diferenças em comparação a outros estudos semelhantes, mostrando que as condições ambientais locais e os hábitos da população inferem nos resultados. Assim, é pouco provável que a caracterização possa ser expandida para outras regiões com características diferentes. Características locais, como clima e os hábitos de higiene e lazer devem ser levados em consideração na caracterização do efluente.

Para as águas cinza não tratadas determinaram-se, em média, uma turbidez de 15,8 UNT, cor aparente de 41,2 UC, teor de óleos e graxas inferior a 3,0 ppm, apresentando um pH levemente ácido, com concentrações de nitrogênio e fósforo de 5,32 e 5,10 mg/L, respectivamente. Quanto ao aspecto microbiológico não foi encontrada densidade de bactérias do grupo *Escherichia coli*, e foram determinadas 5,16 unidades logaritmos de coliformes termotolerantes. Com relação à matéria orgânica, há necessidade de 101 mg O₂/L na decomposição química (DQO). Na condição filtrada, a DQO foi de 40 mg/L. Este esgoto pode ser considerado como de baixa carga poluidora.

Para as águas cinza tratadas, observou-se redução em praticamente todos os parâmetros avaliados. Em termos médios, foram obtidos: pH de 6,51, DQO de 39 mg/L, concentrações de nitrogênio amoniacal, ortofosfato e sulfato de 1,16, 0,10 e 48,4 mg/L, respectivamente. Suas características físicas atendem aos padrões menos restritivos propostos neste trabalho quanto à turbidez de 2,0 UNT, cor de 14,7 UC, teor de óleos e graxas inferior a 1,5 ppm. Os sólidos suspensos totais foram superiores em até 5 vezes ao valor recomendado (< 10 mg/L). Apesar dos SST serem superiores aos propostos, não há registros de recusa do efluente por parte dos usuários.

O sistema apresentou eficiência na remoção de compostos orgânicos, com remoções de DQO de 61,3 % e nitrogênio amoniacal de 78,2 %. Parâmetros físicos como cor e turbidez, possuem reduções superiores a 60 %. Já os coliformes termotolerantes tiveram remoção de 78,7 %, correspondendo a aproximadamente 4 unidades logarítmicas.

No geral, o sistema de tratamento atendeu às exigências menos restritivas em praticamente todos os parâmetros analisados, com exceção dos sólidos suspensos totais.

Para as condições mais restritivas propostas neste trabalho, a situação é mais crítica, com os parâmetros DQO, sólidos suspensos totais e condutividade elétrica não atendendo às exigências.

Deve-se frisar que esta condição mais restritiva não é coerente com as condições locais de Fortaleza, podendo-se, inclusive, expandir para todo o país. Atender a estas restrições demanda um sistema de tratamento mais complexo, o que pode inviabilizar o sistema devido aos altos custos de instalação e/ou manutenção.

A adoção de restrições mais rigorosas deve ser compatível com o uso previsto, considerando uma condição de maior contato dos usuários com o efluente, que pode levar a maiores riscos à saúde dos usuários.

O consumo de água está diretamente ligado às condições climáticas locais e aos costumes da população. Apesar do trabalho ter sido desenvolvido em um mesmo condomínio, notam-se consumos divergentes, dependendo da área privativa das unidades, onde unidades de maior área privativa possuem consumo *per capita* até 35 % superior aos demais.

O consumo *per capita* de água potável na edificação em estudo foi inferior aos propostos por outros autores em pesquisas similares, o que pode ser atribuído aos padrões de consumo local, com as pessoas sendo incentivadas a reduzir os gastos de água, devido às condições climáticas desfavoráveis da região.

Com o reúso de parte das águas consumidas nas torres, observou-se uma redução no consumo de água potável de 38,35 litros, o que corresponde a 21,5 % do consumo *per capita*. Levando em conta as estimativas de produção de águas cinza entre 25 e 57 % (ERIKSSON et al., 2009), constata-se que o consumo de águas cinza no edifício estudado foi inferior à capacidade de produção. Adicionalmente, tem de se ressaltar a origem das águas cinza: chuveiro e lavatório, apenas. Para este empreendimento, não se faz necessário ampliar as fontes produtoras, visto que o consumo já é inferior à produção.

Os padrões de utilização de vasos sanitários foram coerentes com os divulgados por Lombardi et al. (2018) e Jordán-Cuebas et al. (2018), variando entre 4 e 5 descargas por usuário por dia. A estimativa realizada considerando acionamentos com fluxo de 3 L/uso não trouxe resultados coerentes, visto que não se fez qualquer combinação com acionamentos duplos.

Para o dimensionamento de reservatórios, deve-se determinar com o máximo de precisão os volumes necessários para o funcionamento do sistema, uma vez que volumes acumulados por tempos superiores a 48 horas podem ser prejudiciais quanto aos aspectos visuais do líquido, e tempos inferiores a 24 horas podem causar desabastecimento da população, em casos de danos nos sistemas de tratamento e recalque.

Fontes alternativas de abastecimento devem sempre ser previstas nos projetos, uma vez que problemas no tratamento podem ocorrer e não devem prejudicar os usos previstos, principalmente o abastecimento dos apartamentos.

Determinar com precisão os volumes requeridos pelo sistema de águas cinza é essencial para a elaboração de um projeto de reúso adequado, buscando maximizar a utilização do sistema, reduzindo custos com execução, manutenção e operação de todas as partes constituintes. Escolher a vazão adequada para o sistema de tratamento pode reduzir custos de aquisição e energéticos, levando o sistema a gerar maior economia, garantindo um retorno do investimento em menor prazo.

REFERÊNCIAS

AISSE, M. M.; COHIM, E.; BASTOS, R. K. X. Reúso urbano e industrial. *In.*: AISSE, M. M.; FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X. (coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 111-154.

ALFAMEC SOLUÇÕES AMBIENTAIS. **Catálogo de produtos**: soluções em tratamento e reúso de água e esgoto. São Paulo: Alfamec Soluções Ambientais, 2017. Disponível em: <http://alfamec.com.br/produtos/tratamento-de-esgoto-sanitario/sistema-de-reuso-para-ete/>. Acesso em: 5 abr. 2020.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington: APHA, 1995.

ANGELAKIS, A. N.; ASANO, T.; BAHRI, A.; JIMENEZ, B. E.; TCHOBANOGLOUS, G. Water reuse: from ancient to modern times and the future. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, n. 11, p. 1-17, 2018. DOI 10.3389/fenvs.2018.00026. Disponível em: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fenvs.2018.00026/full>. Acesso em: 18 mar. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.216**: projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7.229**: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1997a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13.969**: tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997b.

BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 23-40, 2008.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D. Normas e critérios de qualidade para reúso da água. *In.*: AISSE, M. M.; FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X. (coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 17-62.

BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

BAZZARELLA, B. B.; GONÇALVES, R. F. Tratamento de água cinza em processos (anaeróbio + aeróbio) de alta taxa visando o reúso predial. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales**: investigación, desarrollo y práctica, Punta del Este, v. 1, n. 2, p. 1-11, 2007.

BOANO, F.; CARUSO, A.; COSTAMAGNA, E.; RIDOLFI, L.; FIORE, S.; DEMICHELIS, F.; GALVÃO, A.; PISOEIRO, J.; RIZZO, A.; MASI, F. A review of nature-based solutions for greywater treatment: applications, hydraulic design, and environmental benefits. **Science of The Total Environment**, v. 711, p. 1-82, 2020.

BOYJOO, Y.; PAREEK, V. K.; ANG, M. A review of greywater characteristics and treatment processes. **Water Science and Technology**, v. 67, n. 7, p. 1403–1424, 2013.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000**. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Brasília: CONAMA, 2000.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. 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, e dá outras providências. Brasília: CONAMA, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de maio de 2011. Brasília: CONAMA, 2011a.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Ministério da Saúde, 2011b. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 18 abr. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2017. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html. Acesso em: 18 abr. 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018**. Brasília: SNIS, 2019.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 8525-1: greywater systems – part 1: code of practice**. London: BSI, 2010.

CEARÁ. Governo do Estado do Ceará. Conselho Estadual de Meio Ambiente. **Resolução nº 2, de 2 de fevereiro de 2017**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Fortaleza: COEMA, 2017.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ. **Relatório anual para informações ao consumidor – Fortaleza**. Fortaleza: CAGECE, 2019. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/wp-content/uploads/PDF/RelatorioQualidadeAgua/RelatoriosAnuais/ABCDEF/Fortaleza.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2020.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília: CNRH, 2005.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 121, de 16 de dezembro de 2010**. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005. Brasília: CNRH, 2010.

CURITIBA. **Lei municipal nº 10.785, de 18 de setembro de 2003**. Cria no município de Curitiba, o programa de conservação e uso racional da água nas edificações – PURAE. Curitiba: Câmara Municipal, 2003.

D'AGOSTIN, A.; BECEGATO, V. A.; BAUM, C. A. Revisão sobre técnicas e tratamentos de águas para reúso doméstico. **Geoambiente On-line**, v. 28, n. 14, p. 18-32, 2017. DOI 10.5216/revgeoamb.v0i28.47277. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/47277>. Acesso em: 18 mar. 2019.

DE GISI, S.; CASELLA, P.; NOTARNICOLA, M.; FARINA, R. Grey water in buildings: a mini-review of guidelines, technologies and case studies. **Civil Engineering and Environmental Systems**, v. 33, n. 1, p. 35-54, 2016.

DEOREO, W. B.; MAYER, P. W.; DZIEGIELEWSKI, B.; KIEFER, J. **Residential end uses of water, version 2**: executive report. [S. l.]: Water Research Foundation, 2016.

DIXON, A.; BUTLER, D.; FEWKES, A.; ROBINSON, M. Measurement and modelling of quality changes in stored untreated grey water. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p. 293-306, 2000.

DOMÈNECH, L.; MARCH, H.; VALLÈS, M.; SAURÍ, D. Learning processes during regime shifts: Empirical evidence from the diffusion of greywater recycling in Spain. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 15, p. 26-41, 2015.

DYT, M. (org.). **Domestic wastewater management plan 2019**. Cardiff Heyghts (NSW): Macedon Ranges Shire Council, 2019.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse**. Washington: EPA, 2012.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; HENZE, M.; LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, v. 4, n. 1, p. 85-104, 2002.

ERIKSSON, E.; ANDERSEN, H. R.; MADSEN, T. S.; LEDIN, A. Greywater pollution variability and loadings. **Ecological Engineering**, v. 35, n. 5, p. 661-669, 2009.

ESPAÑA. **Real Decreto 1620, de 7 de diciembre de 2007**. Se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Madrid: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 2007. Disponível em: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-21092-consolidado.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

FIORI, S.; FERNANDES, V. M. C.; PIZZO, H. Avaliação qualitativa e Quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 1, p. 19-30, 2006.

FRIEDLER, E. Quality of individual domestic greywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities. **Environmental Technology**, v. 25, n. 9, p. 997-1008, 2004. <https://doi.org/10.1080/09593330.2004.9619393>.

FRIEDLER, E.; LAHAV, O.; JIZHAKI, H.; LAHAV, T. Study of urban population attitudes towards various wastewater reuse options: Israel as a case study. **Journal of Environmental Management**, v. 81, n. 4, p. 360-370, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.11.013>.

GHISI, E.; FERREIRA, D. F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 7, p. 2512-2522, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.019>.

GROSS, A.; MAIMON, A.; ALFIYA, Y.; FRIEDLER, E. **Greywater reuse**. Boca Raton, FL: LLC, 2015.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil agricultura, industria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v7n4.p75-95>.

HUSCROFT, J.; RUMSEY, K. Greywater recycling: an overview of its use in British Columbia. **BREE 420/608 Engineering for Sustainability – Term Paper**, 2016.

ISRAEL WATER AUTHORITY. **Long-term national master plan for the water sector: policy document**. Israel: IWA, 2012. Disponível em: <http://www.water.gov.il/Hebrew/Planning-and-Development/Planning/MasterPlan/DocLib4/MasterPlan-en-v.4.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2020.

JORDÁN-CUEBAS, F.; KROGMANN, U.; ANDREWS, C. J.; SENICK, J. A.; HEWITT, E. L.; WENER, R. E.; SORENSEN ALLACCI, M.; PLOTNIK, D. Understanding apartment end-use water consumption in two green residential multistory buildings. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 144, n. 4, p. 1-20, 2018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000911](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000911).

JUAN, Y.-K.; CHEN, Y.; LIN, J.-M. Greywater reuse system design and economic analysis for residential buildings in Taiwan. **Water**, v. 8, n. 11, p. 1-11 2016. <https://doi.org/10.3390/w8110546>.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.

LOMBARDI, F.; SILVAGNI, G.; SIRINI, P.; SPAGNUOLO, R.; VOLPI, F. Daily water demand. **Ambiente e Agua: An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 13, n. 5, p. 1-11 2018. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2239>.

LYU, S.; CHEN, W.; ZHANG, W.; FAN, Y.; JIAO, W. Wastewater reclamation and reuse in China: opportunities and challenges. **Journal of Environmental Sciences**, v. 39, p. 86-96, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.11.012>.

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas - prediais e industriais**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

MAIMON, A.; FRIEDLER, E.; GROSS, A. Parameters affecting greywater quality and its safety for reuse. **Science of The Total Environment**, v. 487, p. 20-25, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.133>.

MAIMON, A.; GROSS, A. Greywater: limitations and perspective. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 2, p. 1-6, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.11.005>.

MARINGÁ. **Lei municipal nº 6.345, de 15 de outubro de 2003**. Institui o programa de reaproveitamento de águas de Maringá. Maringá: Câmara Municipal, 2003.

MIZYED, N. R. Challenges to treated wastewater reuse in arid and semi-arid areas. **Environmental Science & Policy**, v. 25, p. 186-195, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.10.016>.

MOREL, A.; DIENER, S. **Greywater management in low and middle-income countries: review of different treatment systems for households or neighbourhoods**. Dübendorf: Sandec at Eawag, 2006.

MOURAD, K. A.; BERNDTSSON, J. C.; BERNDTSSON, R. Potential fresh water saving using greywater in toilet flushing in Syria. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 10, p. 2447-2453, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.05.004>.

MUTHUKUMARAN, S.; BASKARAN, K.; SEXTON, N. Quantification of potable water savings by residential water conservation and reuse: a case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 11, p. 945-952, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.04.013>.

NOGUEIRA, S. ONG ambientalista realiza campanha para pessoas fazerem xixi no banho. **Ciência e Saúde**, São Paulo, 8 maio 2009. Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/Ciencia/0,,MUL1113021-5603,00-ONG+AMBIENTALISTA+REALIZA+CAMPANHA+PARA+PESSOAS+FAZEREM+XIXI+NO+BANHO.html>. Acesso em: 18 abr. 2020.

OLIVEIRA, G.; SCAZUFCA, P.; MARGULIES, B. N. **Ranking do Saneamento Instituto Trata Brasil 2020 (SNIS 2018)**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2020.

OLIVEIRA, L. de O. V. **Características sensoriais e o risco microbiológico em águas cinza tratadas para reúso predial**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

PARANYCHIANAKIS, N. V.; SALGOT, M.; SNYDER, S. A.; ANGELAKIS, A. N. Water reuse in EU States: necessity for uniform criteria to mitigate human and

environmental risks. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 45, n. 13, p. 1409-1468, 2015. <https://doi.org/10.1080/10643389.2014.955629>.

PENN, R.; SCHÜTZE, M.; FRIEDLER, E. Modelling the effects of on-site greywater reuse and low flush toilets on municipal sewer systems. **Journal of Environmental Management**, v. 114, p. 72-83, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.044>.

PINTILIE, L.; TORRES, C. M.; TEODOSIU, C.; CASTELLS, F. Urban wastewater reclamation for industrial reuse: an LCA case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 1-14, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.209>.

QUEIROZ, L. M.; FERREIRA, I. V. L.; SOUSA, J. T. de; OLIVEIRA-ESQUERRE, K. P.; BARBOZA, M. G.; MENDONÇA, N. M. Aspectos quantitativos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas. *In.*: SANTOS, A. B. dos (coord.). **Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais**. Fortaleza: Impreco, 2019. p. 48-117.

REZNIK, A.; FEINERMAN, E.; FINKELSHTAIN, I.; FISHER, F.; HUBER-LEE, A.; JOYCE, B.; KAN, I. Economic implications of agricultural reuse of treated wastewater in Israel: a statewide long-term perspective. **Ecological Economics**, v. 135, p. 222-233, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.01.013>.

ROCCARO, P.; VERLICCHI, P. Wastewater and reuse. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 2, p. 61-63, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.008>.

ROCHA, A. L.; BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E. **Caracterização e monitoramento do consumo predial de água**. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento, 1998.

SALGOT, M. Water reclamation, recycling and reuse: implementation issues. **Desalination**, v. 218, n. 1-3, p. 190-197, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.09.035>.

SALGOT, M.; FOLCH, M. Wastewater treatment and water reuse. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 2, p. 64-74, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.005>.

SAMAYAMANTHULA, D. R.; SABARATHINAM, C.; BHANDARY, H. Treatment and effective utilization of greywater. **Applied Water Science**, v. 9, n. 4, p. 1-12, 2019. DOI 10.1007/s13201-019-0966-0. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s13201-019-0966-0>>. Acesso em: 12 abr. 2020.

SANT'ANNA JUNIOR, G. L. **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

SANTASMASAS, C.; ROVIRA, M.; CLARENS, F.; VALDERRAMA, C. Grey water reclamation by decentralized MBR prototype. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 72, p. 102-107, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.01.004>.

SANTOS, D. C. dos. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. **Ambiente Construído**, v. 2, n. 4, p. 7-18, 2002.

SÃO PAULO (ESTADO). **Lei nº 997, de 31 de maio de 1976**. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo, 1976.

SÃO PAULO (ESTADO). **Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01, de 28 de junho de 2017**. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas. São Paulo, 2017.

SHI, K. W.; WANG, C. W.; JIANG, S. C. Quantitative microbial risk assessment of greywater on-site reuse. **Science of The Total Environment**, v. 635, p. 1507-1519, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.197>.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Conservação e reúso de água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.

SOUSA, A. F. S. de. **Diretrizes para implantação de sistemas de reúso de água em condomínios residenciais baseadas no método APPCC – análise de perigos e pontos críticos de controle**: estudo de caso Residencial Valville I. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SOUZA, M. A. A. de; SANTOS, A. B. dos; WOLFF, D. B.; BARBOZA, M. G.; MORAIS, N. W. S.; BITTENCOURT, S. Aspectos legais e normativos sobre o gerenciamento de água, lodo e emissões gasosas em sistemas descentralizados de coleta e tratamento de esgotos. *In.*: SANTOS, A. B. dos (coord.). **Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais**. Fortaleza: Imprece, 2019. p. 664-745.

UNITED NATIONS. **The United Nations world water development report 2018: nature-based solutions for water**. Paris: UNESCO, 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (org.). **Guidelines for water reuse**. Washington: USEPA, 2012.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005.

VUPPALADADIYAM, A. K.; MERAYO, N.; PRINSEN, P.; LUQUE, R.; BLANCO, A.; ZHAO, M. A review on greywater reuse: quality, risks, barriers and global scenarios. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 18, n. 1, p. 77-99, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11157-018-9487-9>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Overview of graywater management: health considerations**. Jordan: WHO, 2006.

ZHU, J.; WAGNER, M.; CORNEL, P.; CHEN, H.; DAI, X. Feasibility of on-site greywater reuse for toilet flushing in China. **Journal of Water Reuse and Desalination**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2018. <https://doi.org/10.2166/wrd.2016.086>.

APÊNDICE B – CÓDIGO FONTE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

/* Arduino example sketch to control a JSN-SR04T ultrasonic distance sensor with Arduino.
No library needed. More info: <https://www.makerguides.com> */

```
// Define Trig and Echo pin:
```

```
#define trigPin 2
```

```
#define echoPin 3
```

```
// Define variables:
```

```
long duration;
```

```
int distance;
```

```
void setup() {
```

```
  // Define inputs and outputs
```

```
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
```

```
  pinMode(echoPin, INPUT);
```

```
  // Begin Serial communication at a baudrate of 9600:
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
  // Clear the trigPin by setting it LOW:
```

```
  digitalWrite(trigPin, LOW);
```

```
  delayMicroseconds(10);
```

```
  // Trigger the sensor by setting the trigPin high for 10 microseconds:
```

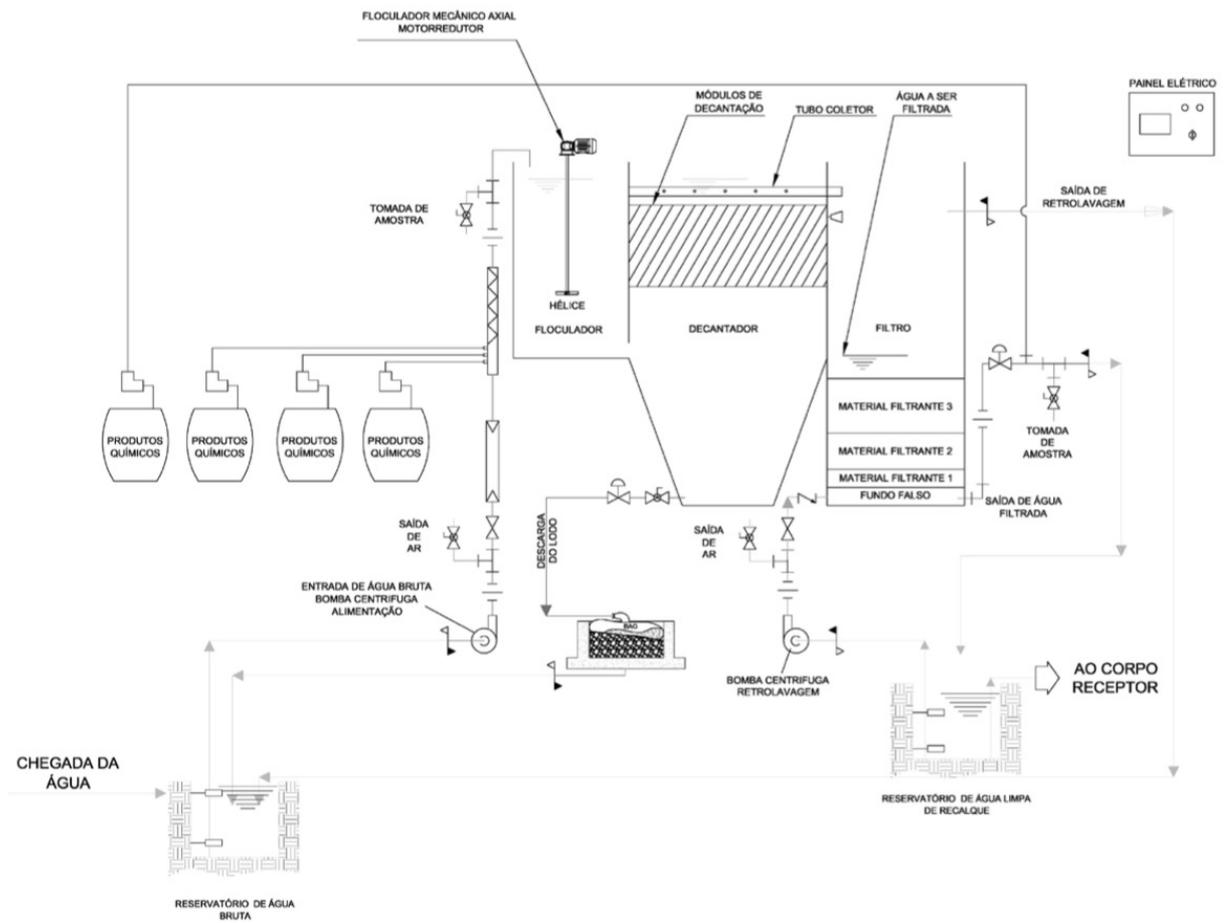
```
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
```

```
  delayMicroseconds(10);
```

```
  digitalWrite(trigPin, LOW);
```

```
// Read the echoPin. pulseIn() returns the duration (length of the pulse) in microseconds:  
duration = pulseIn(echoPin, HIGH);  
  
// Calculate the distance:  
distance = duration*0.034/2;  
  
// Print the distance on the Serial Monitor (Ctrl+Shift+M):  
Serial.print("Distance = ");  
Serial.print(distance);  
Serial.println(" cm");  
  
delay(2000);  
}
```

ANEXO A – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE TRATAMENTO



Fonte: Alfamec (2017)