

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
EM SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA URBANA

RODRIGO JOSÉ GONÇALVES DA CUNHA

APRIMORAMENTO EM SISTEMA DE ETE/EPAR
COM FOCO EM MELHORIA DA QUALIDADE DA
ÁGUA DE REUSO: ESTUDO DE CASO

CAMPINAS

2020

RODRIGO JOSÉ GONÇALVES DA CUNHA

**APRIMORAMENTO EM SISTEMA DE ETE/EPAR
COM FOCO EM MELHORIA DA QUALIDADE DA
ÁGUA DE REUSO: ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Sistemas de Infraestrutura Urbana, do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Custodio Urban

PUC-CAMPINAS

2020

Ficha catalográfica elaborada por Fabiana Rizziolli Pires CRB 8/6920
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

628.3
C972a

Cunha, Rodrigo José Gonçalves da

Aprimoramento em sistema de ETE/EPAR com foco em melhoria da qualidade da água de reuso: estudo de caso / Rodrigo José Gonçalves da Cunha. - Campinas: PUC-Campinas, 2020.

110 f.: il.

Orientador: Rodrigo Custódio Urban.

Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2020.

Inclui bibliografia.

1. Águas residuais - Purificação. 2. Água - Reutilização. 3. Água - Estações de tratamento. I. Urban, Rodrigo Custódio. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. III. Título.

CDD - 22. ed. 628.3

RODRIGO JOSÉ GONÇALVES DA CUNHA

**APRIMORAMENTO EM SISTEMA DE ETE/EPAR
COM FOCO EM MELHORIA DA QUALIDADE DA
ÁGUA DE REUSO: ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.

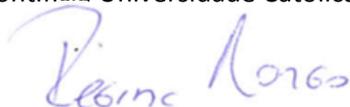
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Custódio Urban.

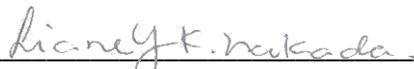
Dissertação defendida e aprovada em 30 de junho de 2020 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Prof. Dr. Rodrigo Custódio Urban
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Regina Márcia Longo
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Liane Yuri Kondo Nakada
Universidade Santo Amaro - UNISA

Dedico esta conquista à minha esposa Jeanine,
meus pais, meu tio, irmãos,
meus sogros e, em especial,
ao meu filho Otto, que acabou de nascer.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa, Jeanine Alvarenga Fonseca da Cunha pelo apoio, paciência, incentivo e por fazer tudo isso enquanto carregava nosso maior presente: nosso filho Otto.

Ao ao meu pai pelo exemplo e pela ajuda na conquista de mais esta meta de vida.

À minha mãe que, pela maneira que viveu e me criou, me conduziu até este momento.

Aos meus sogros, Lúcia Alvarenga da Fonseca e Eduardo Pereira da Fonseca, pelo apoio prestado durante a etapa final do trabalho.

Ao meu amigo e orientador inicial, Prof. Dr. Antonio Carlos Demanboro. Se não fosse por ele, não teria sequer começado.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Custodio Urban por assumir a orientação nos últimos meses. Não fossem sua visão, dedicação e contribuições, não teria terminado.

À empresa e ao meu gestor, que me acolheram em meu momento mais difícil e, gentilmente, cederam todos os recursos necessários para execução deste trabalho.

Ao meu melhor e mais velho amigo, Diego José Polo, pelo apoio e contribuições no campo da Estatística.

À Pontifícia Universidade Católica de Campinas pela oportunidade, bolsa, e todo apoio e compreensão demonstrada pelos seus profissionais ao longo de todo o curso.

Ao meu filho Otto Fonseca da Cunha, por ter nascido e ser a maior das inspirações.

RESUMO

CUNHA, R. J. G. **Aprimoramento em Sistema de ETE/EPAR com Foco em Melhoria da Qualidade da Água de Reuso: Estudo de Caso**. 2020. 110f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2020.

O tratamento de efluentes e o reuso do efluente tratado são estratégias para racionalização do uso da água. De acordo com a qualidade alcançada pelo tratamento e da modalidade de reuso pretendida, o efluente tratado, ao invés de retornar ao manancial, pode ser reutilizado como alternativa ao consumo de água potável. Este trabalho realiza o diagnóstico de um sistema de tratamento de efluentes e produção de água de reuso existente, localizado em uma indústria farmacêutica, com intuito de avaliar a qualidade do efluente tratado, bem como da água de reuso, em relação aos parâmetros legais, visando apresentar e discutir quais são as ações necessárias para adequar os parâmetros críticos ou que, possivelmente, estejam fora dos padrões estabelecidos, de modo a promover e ampliar a sua utilização. O estudo foi feito a partir do histórico de análises do efluente tratado e da água de reuso, já utilizada em sistemas de resfriamento e sanitários. Os dados foram organizados e relacionados com os padrões normativos e técnicos referentes às aplicações da água de reuso. Foi avaliada a caracterização das amostragens em relação ao uso atual e os possíveis cenários de ampliação do reuso, utilizando ferramentas estatísticas. Os resultados mostram que somente a desinfecção é um processo que carece de melhorias, em relação ao uso atual. Com melhorias no sistema de desinfecção e aderência ao monitoramento de parâmetros preconizados em legislação, as aplicações da água de reuso podem ser ampliadas e, com investimento em tecnologias de tratamento avançado, os parâmetros da água de reuso podem se aproximar aos padrões de potabilidade. Foram detectadas oportunidades de melhorias no sistema de águas de resfriamento, no qual a água de reuso é aplicada, e a possibilidade de utilização da água de reuso em caldeiras, com potencial para uma economia anual da ordem de R\$ 300.000,00/ano.

Palavras-chave: Reuso de Água, Tratamento de Efluentes, Padrões de Reuso

ABSTRACT

CUNHA, R. J. G. **Improvement in WWTP / RWTP System with Focus on Improving the Quality of Reused Water: Case Study**. 2020. 100f. Thesis (Master in Urban Infrastructure Systems) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2020.

Wastewater treatment and the reuse of treated wastewater are strategies for rational use of water. According to the quality standard achieved by the treatment and the type of reuse, the treated wastewater instead of returning to its source, can be reused as an alternative to the use of potable water. This study makes a diagnosis of an existing wastewater treatment plant and reclaimed water treatment plant, located on a pharmaceutical industry, in order to assess the quality of the treated effluent, as well as the reclaimed water, according to the legal parameters, aiming to present and discuss the necessary actions to adjust the parameters which are critical or out of specification, in order to promote and expand the water reuse. The study is based on the history of laboratory results of the treated wastewater and the reclaimed water, already used in cooling and sanitary systems. The data were organized and related to the normative and technical standards regarding the applications of reclaimed water. The samples were evaluated using statistical tools in relation to the current use and the possible scenarios of expansion of the water reuse. The results show that only the disinfection step needs improvement, according to the current use. With improvements in the disinfection system and adherence to the monitoring of parameters recommended in legislation, the reused water applications can be expanded and, with investment in advanced tertiary treatment technologies, the reuse water parameters can approach potability standards. The work also detected opportunities for improvements in the cooling water system, in which reuse water is applied, and the possibility of using reuse water in boilers, with the potential for annual savings around R\$ 300.000,00 / year.

Keywords: Water Reuse, Wastewater Treatment Plant, Reclaimed Water Standards

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema Lodos Ativados Básico	29
Figura 2 – Representação do conceito de adequação ao uso.....	31
Figura 3 – Representação do fluxo da água na área em estudo	40
Figura 4 – Fluxo do Processo ETE	42
Figura 5 – Fluxo do Processo EPAR	45
Figura 6 – Layout das Torres de Resfriamento.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes e Parâmetros conforme NBR 13.696 de 1997.....	20
Tabela 2 – Classes e Parâmetros Conforme Resolução SES/SMA/SSRH Nº 01/2017	22
Tabela 3 – Frequência de Monitoramento Resolução SES/SMA/SSRH Nº 01/2017	23
Tabela 4 – Classes e Parâmetros Conforme Resolução Municipal nº 09/2014	23
Tabela 5 – Frequência de Monitoramento Conforme Resolução Municipal nº 09/2014.....	24
Tabela 6 – Parâmetros de Qualidade para Água de Resfriamento e Caldeiras	27
Tabela 7 – Conclusões Relação DQO/DBO	28
Tabela 8 – Técnicas de Tratamento e Eficiência	31
Tabela 9 – Tecnologias de Desinfecção.....	32
Tabela 10 – Uso da Água na Área em Estudo	47
Tabela 11 – Valores de Referência para Efluentes utilizados na ETE/EPAR estudada	50
Tabela 12 – Valores de Referência Água de Reuso utilizados na ETE/EPAR estudada	51
Tabela 13 – Estatística descritiva das características do efluente tratado.	53
Tabela 14 – Estatística descritiva das caracterização Água de Reuso.....	55
Tabela 15 – Correlação Efluente X Água de Reuso	58
Tabela 16 – Tabela Médias Água de Reuso e Torres.....	60
Tabela 17 – Tabela Variância Água de Reuso e Torres.....	60
Tabela 18 – Tabela Medianas Água de Reuso e Torres.....	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1	Reuso da Água	15
3.1.1	Modalidades de Reuso	16
3.2	Regulamentações e Recomendações Aplicáveis do Reuso de Água	19
3.2.1	Regulamentação do Reuso de água no Brasil	19
3.2.2	Regulamentação do Reuso de água no Estado de São Paulo	21
3.2.3	Regulamentação do Reuso de água no município de Campinas-SP	22
3.2.4	Especificações Técnicas para Reuso Industrial	25
3.3	Tratamento de Efluentes	25
3.3.1	Tratamento Biológico de Efluentes – Tratamento Secundário	26
3.3.2	Tratamentos Terciários – Produção de Água de Reuso	30
3.3.3	Tratamentos para Reuso – Águas de Resfriamento e Caldeiras	33
3.4	Estudos atuais – Sistemas de Tratamento com foco em Reuso	34
4	METODOLOGIA	39
4.1	Descritivo da Área em Estudo	39
4.1.1	Coleta e afastamento de efluentes	39
4.1.2	Estação de Tratamento de Efluentes - ETE	40
4.1.3	Estação de Produção de Água de Reuso – EPAR	43
4.1.4	Aplicação da Água de Reuso	44
4.2	Levantamento de dados	46
4.2.1	Requisitos Aplicáveis	48
4.2.2	Parâmetros e valores de Referência	50

4.3	Procedimentos para Análise e Discussão dos Resultados	50
5	Resultados e Discussão	53
5.1	Caracterização do Efluente Tratado	53
5.2	Caracterização da Água de Reuso	54
5.2.1	1º Cenário	54
5.2.2	2º Cenário	56
5.2.3	3º Cenário	56
5.3	Correlação do Efluente Tratado x Água de Reuso	58
5.4	Avaliação das Águas de Torres	60
5.4.1	Comparação de valores médios e variância	60
6	Conclusão	63
	Referências	65
	APÊNDICE A – Planilhas de Resultados do Efluente Tratado, Água de Reuso e Torres, considerando os requisitos aplicáveis atuais.	71
	APÊNDICE B – Planilhas de Caracterização e Frequência de Inadequação dos parâmetros Efluente Tratado, considerando os requisitos aplicáveis.....	76
	APÊNDICE C – Planilhas de Caracterização e Frequência de Inadequação dos parâmetros da Água de Reuso e Torres, considerando o 1º Cenário.....	77
	APÊNDICE D – Planilhas de Frequência de Inadequação dos parâmetros da Água de Reuso e Torres, considerando o 2º Cenário	83
	APÊNDICE E – Planilhas de Frequência de Inadequação dos parâmetros da Água de Reuso e Torres, considerando o 3º Cenário	84
	APÊNDICE F – Planilhas de Correlação entre Parâmetros do Efluente Tratado e Água de Reuso	85
	APÊNDICE G – Testes Wilcoxon Mann-Whitney entre amostras de Água de Reuso e Águas das Torres	87

1 INTRODUÇÃO

O planeta vive o que se convencionou chamar de crise hídrica. Com o aumento populacional, existe um incremento constante na demanda de água, nos setores agrícola, doméstico e industrial (ROSHAN; KUMAR, 2020). De acordo com a ONU (2020), um déficit hídrico global de 40% pode ocorrer até 2030 e estima-se um crescimento de 24 % até 2050 da participação dos setores energético e industrial na demanda de água.

Considerando a crise hídrica como uma questão de oferta e demanda (CARDOZO; DEMANBORO, 2011), o tratamento de águas residuárias pode oferecer mais do que somente a manutenção da qualidade do recurso hídrico ofertado. O esgoto ou efluente industrial tratado pode ser utilizado como água de reuso, tanto para fins potáveis quanto não-potáveis. Dessa forma, ao reduzir o consumo de água potável e minimizar a captação de água nos mananciais, Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) equipadas com meios para garantir o reuso do efluente tratado podem ser consideradas ferramentas para a gestão da demanda hídrica (FAUSTINI *et al.*, 2018). Apesar dos incentivos em diversos países, a proporção de utilização de água de reuso em relação a geração total de águas residuárias ainda é pequena, com um potencial ainda a ser explorado (VOULVOULIS, 2018).

No mundo, a utilização predominante de água de reuso (mais de 70%) é pelos setores agrícolas (irrigação), paisagístico e industrial. A utilização da água de reuso nesses setores se justifica devido a dois fatores: padrões de qualidade menos restritivos e concentração em usuários individuais com demandas expressivas (FUKASAWA; MIERZWA, 2020).

Nas indústrias a utilização da água de reuso tem outros objetivos, além da economia de recursos naturais. Com a crescente demanda, o custo da aquisição de água potável e do descarte e tratamento de efluentes também são crescentes, e, aliados à regulamentação mais restritiva, tornam a reciclagem de águas residuárias uma ação economicamente vantajosa (ANDRADE *et al.*, 2017). Indústrias de diversos ramos de atuação têm adotado o reuso como prática comum em seus processos industriais, mas poucos estudos sobre a aplicação em indústrias farmacêuticas são relatados (ANDRADE *et al.*, 2017). No caso

específico das indústrias farmacêuticas, Milanesi *et al.* (2020) destacam que atitudes para incremento de sua sustentabilidade ambiental, como a economia de água, são crescentes e já são considerados um diferencial para consumidores e organizações.

Neste contexto, é evidente que a existência de estações de reuso de água são benéficas para indústrias farmacêuticas, e sua correta operação é essencial para que se tenha acesso a todos os benefícios, econômicos e ambientais. As ETE são sujeitas a falhas mecânicas e humanas, bem como a variabilidade inerente aos processos de tratamento biológico de esgotos, o que, por sua vez, leva a problemas e instabilidade nos processos, e ocasionando efeitos adversos na qualidade do efluente (OLIVEIRA; von SPERLING, 2005). Para evitar isso, devem-se usar técnicas e meios que sejam eficazes na identificação das falhas dos processos de tratamento (TREVISAN; ORSSATTO, 2017).

Neste sentido, os sistemas de tratamento de efluentes, que, por princípio, necessitam de constante atualização para manter sua eficiência e resguardar os mananciais que receberão os despejos, também precisam de adequações para que seu efluente tratado possa ter seu reuso viabilizado. Neste trabalho, realizamos o diagnóstico de um sistema de tratamento instalado em indústria farmacêutica da região de Campinas, com intuito de caracterizar e avaliar a qualidade da água de reuso, visando a manutenção do uso atual e a proposta de ações para ampliação do reuso.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Avaliar um sistema de Tratamento de Efluentes e Estação Produtora de Água de Reuso de indústria farmacêutica da região de Campinas-SP e propor mudanças que melhorem e mantenham a qualidade da água de reuso para os fins desejados atuais e futuros.

2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar diagnóstico do sistema de tratamento atual, a partir de requisitos de qualidade legais e técnicos aplicáveis.
- Comparar o atendimento do sistema atual em diferentes cenários de acordo com o tipo de reuso.
- Aplicar ferramentas estatísticas para caracterização e identificação de pontos de melhoria.
- Propor melhorias no sistema de tratamento atual.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Reuso da Água

A expressão “reuso da água”, analisando seus significados mais óbvios possíveis, pode referir-se ao próprio ciclo hidrológico; à captação da água utilizada em um determinado trabalho, ou etapa do mesmo trabalho, para uso em outra etapa ou outra tarefa; ou, ainda, à simples prática de captar a água de um corpo hídrico, cuja montante foi utilizada como ponto de lançamento de águas residuárias oriundas de qualquer outra atividade. E poderia se limitar somente a essas definições, se o crescimento populacional, mudanças climáticas, e a deterioração dos mananciais, não tornasse evidente que a gestão deste recurso “inesgotável”, precisa evoluir para uma abordagem mais racional. Em suma, isso significa controlar perdas, desperdícios e promover seu reuso (SANTOS *et al.*, 2006).

Neste sentido, o significado mais atual para tal expressão, seria “uso de efluentes tratados para fins benéficos, tais como irrigação, uso industrial e fins urbanos não potáveis” (MIERZWA, 2002).

De acordo com Mierzwa e Hespanhol (2005), o reuso da água é uma ferramenta bastante útil para o uso racional da água, preservação dos recursos naturais e controle da poluição. No entanto, deve ser parte da, e não a única, solução para racionalização do uso da água. Sua implantação envolve custos, estudo, deve levar em conta a finalidade do reuso e os padrões de qualidade do efluente, que passarão a atender os padrões de reuso pretendido, enquanto se mantém dentro dos padrões de lançamento.

No sentido de esclarecer os critérios de reuso, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2012) resume as motivações para a prática do reuso em três pontos:

- **Urbanização e escassez de água:** A relação de oferta hídrica x demanda sofre grande pressão do crescimento populacional. O consumo de água por demandas tipicamente urbanas (construção, indústria e comércio), bem como pela crescente demanda agrícola, gera um cenário de mudanças no perfil de uso do solo que sobrecarregam e excedem a capacidade de adaptação das fontes de recursos hídricos. Déficits na

reposição de volumes e deterioração de aquíferos são problemas esperados, motivando a busca por fontes de água alternativas.

- **Eixo Água-Energia:** Eficiência energética e sustentabilidade são motivações chave para o reuso de água, pois água e energia estão interconectadas. O reuso permite que um maior volume de água permaneça por mais tempo no meio, além de reduzir a energia e os recursos necessários para captar, tratar e distribuir água. A água reutilizada, além de aliviar a demanda hídrica e os recursos utilizados para atendê-la, pode, também, ser utilizada para a própria geração de energia.
- **Proteção Ambiental:** Além do reuso se apresentar como alternativa em regiões que sofrem com escassez hídrica, há outra contribuição ambientalmente significativa: a redução (ou eliminação) de lançamento de efluentes. O resultado é a redução na carga poluidora e na carga de nutrientes em corpos d'água, refletindo positivamente na qualidade das águas e em benefícios econômicos, uma vez que se reduz a necessidade de técnicas, processos e produtos complexos, que objetivam tratamentos avançados para captação e consumo das águas desses mananciais.

3.1.1 Modalidades de Reuso

Lavrador Filho (1987, *apud* Brega Filho e Mancuso, 2003) sugere as seguintes terminologias para categorizar as modalidades de reuso:

- **Reuso de Água:** aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as suas necessidades, ou outros usos benéficos, podendo ser direto ou indireto, planejado ou não planejado.
- **Reuso indireto não planejado:** ocorre quando a água já utilizada é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada à sua jusante, em sua forma diluída, sujeita à processos naturais de autodepuração e sedimentação, de forma não intencional.
- **Reuso planejado de água:** também chamado de “reuso intencional”, trata-se da prática deliberada do uso do efluente tratado (logo, pressupõe a existência de um tratamento que atenda aos padrões

requeridos pelo uso que se deseja fazer da água), de forma direta ou indireta.

- **Reuso indireto planejado de água:** reuso do efluente tratado após sua descarga em corpo hídrico, à jusante, em sua forma diluída e de maneira controlada, no intuito de algum uso benéfico.
- **Reuso direto planejado de água:** direcionamento do efluente tratado, de seu ponto de descarga, diretamente ao destino de reuso. Pode sofrer tratamentos adicionais e armazenamento, mas não são descartados no meio ambiente.
- **Reciclagem da água:** reuso interno da água, antes de tratamento ou descarga no meio ambiente, para servir como fonte suplementar de abastecimento ao uso original. Trata-se de uma modalidade de reuso direto planejado.

Segundo Westerhoff (1984, *apud* Brega Filho e Mancuso, 2003), o reuso também pode ser classificado de acordo com suas principais finalidades: não-potável e potável.

O reuso não-potável está previsto na legislação brasileira através da Resolução nº 54 de 28 de Novembro de 2005, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. Utilizando a referida resolução, temos as seguintes definições:

- **Reuso para fins urbanos:** Utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana.
- **Reuso para fins agrícolas e florestais:** Aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas.
- **Reuso para fins ambientais:** Utilização de água de reuso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente.
- **Reuso para fins industriais:** Utilização de água de reuso em processos, atividades e operações industriais.
- **Reuso na aquicultura:** Utilização de água de reuso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

O reuso potável, conforme definido por Brega Filho e Mancuso (2003), consiste em:

- **Reuso Potável Indireto:** O efluente tratado é disposto, após tratamento, diretamente no corpo d'água, subterrâneo ou superficial. Após sujeitar-se à diluição e depuração natural, é, novamente, captado, tratado e, finalmente, utilizado como água potável.
- **Reuso Potável Direto:** Reutilização direta do efluente tratado no sistema de água potável. Esta forma de reuso pressupõe tratamento avançado do efluente.

3.1.1.1 Reuso Industrial

De acordo com Brega Filho e Mancuso (2003), este tipo de reuso da água consiste na aplicação do efluente em processos, ao invés de seu imediato descarte no meio ambiente. Evidentemente, os critérios de qualidade desse efluente, bem como os processos necessários para alcance desta qualidade, são definidos conforme sua aplicação.

Ainda de acordo com Brega Filho e Mancuso (2003), uma modalidade particular de reuso na indústria é chamada “uso em cascata” (CNI, 2017), que consiste em utilizar diretamente o efluente de um determinado processo em outro processo subsequente, desde que as características do efluente sejam compatíveis com os requisitos de qualidade exigidos.

Quanto às aplicações do reuso não-potável na indústria, são basicamente as seguintes (CNI, 2017):

- como fluido de resfriamento ou aquecimento;
- como matéria-prima em processos industriais
- uso como fluido auxiliar para preparo de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, veículos ou, ainda, para operações de lavagem;
- uso para geração de energia, podendo ser utilizada por meio da transformação da energia, potencial ou térmica, da água, em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica;
- como descarga em vasos sanitários e mictórios;

- na construção civil, cabines de pintura, combate a incêndio, rega de áreas verdes ou incorporação em diversos subprodutos gerados nos processos industriais, seja na fase sólida, líquida ou gasosa.

Cada aplicação requer uma qualidade específica, geralmente obtida através de algum tipo de tratamento. Portanto, o reuso industrial deve ser aplicado mediante estudo detalhado, considerando as alterações no fluxo na armazenagem de efluentes, bem como o impacto na concentração de contaminantes específicos que, por sua vez, tende a aumentar conforme diminuem a demanda de água e a geração de efluentes. Com menor troca hidráulica e maior tempo de residência da mesma água no sistema, a concentração de contaminantes pode aumentar, limitando o potencial de reuso, caso não seja considerado (CNI, 2017).

3.2 Regulamentações e Recomendações Aplicáveis do Reuso de Água

Em vários países, o reuso é componente de programas e políticas públicas de gestão de recursos hídricos, em outros, há carência de regulamentação e controle, tanto sanitário quanto ambiental (SANTOS *et al.*, 2006). Os subitens aqui descritos apresentarão as regulamentações existentes e aplicáveis, bem como as recomendações técnicas pertinentes ao estudo realizado.

3.2.1 Regulamentação do Reuso de água no Brasil

Em âmbito nacional, o Brasil possui os seguintes instrumentos legais aplicáveis à prática do reuso: a Resolução CONAMA 357/2005, alterada e ampliada pela Resolução nº 430/ 2011, e a Resolução CNRH nº 54/2005, além de uma Norma Técnica, a ABNT NBR 13.696/1997.

A Resolução CONAMA 357/2005 revogou a antiga Resolução CONAMA 20/1986, tornando-se a principal referência em gestão qualitativa dos recursos hídricos. Esta Resolução define a classificação para enquadramento dos corpos hídricos, lista os padrões a ser atingidos pelos sistemas de tratamento de efluentes, além de determinar que o lançamento não pode alterar a classe de enquadramento do corpo receptor (MIERZWA; HESPANHOL, 2005; MIKI *et al.*, 2015; von SPERLING, 2016).

Em 8 de janeiro de 1997, foi sancionada a Lei Federal nº 9.433, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, considerada um marco por integrar conceitos relacionados ao desenvolvimento sustentável, uso racional de recursos hídricos e reconhecimento dos recursos naturais como bens econômicos (MIERZWA; HESPANHOL, 2005). Porém, somente em 2005, o reuso da água, em sua modalidade direta e não-potável, teria representação legal através da Resolução nº 54, publicada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

De acordo com von Sperling (2016), apesar da prática do reuso estar referenciada em tais instrumentos legais, não encontramos nestes a especificação dos padrões de qualidade da água em relação à modalidade na qual o efluente tratado pode ser reutilizado (agricultura, uso urbano, industrial, etc.), sendo esta uma das principais razões pela qual o reuso da água não é praticado de maneira sistemática em todo o país, apesar do cenário de escassez de água, registrado nos últimos anos.

Com relação a parâmetros de qualidade, temos na Norma Técnica ABNT “NBR 13.696 de 1997 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação”, em seu capítulo 5.6, a definição de 4 classes de reuso e padrões de qualidade, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Classes e Parâmetros conforme NBR 13.696 de 1997

Classe	Tipo de Uso	Parâmetros
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.	Turbidez: < 5,0 NTU; Coliforme fecal: < 200 NMP/100 mL; Sólidos Dissolvidos Totais: < 200 mg/L; pH: entre 6,0 e 8,0; Cloro residual: entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L.
Classe 2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	Turbidez: < 5,0 NTU; Coliforme fecal: < 500 NMP/100 mL; Cloro residual: > 0,5 mg/L.
Classe 3	Reuso nas descargas dos vasos sanitários. <i>Obs: Normalmente, as águas de enxágue das máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão, sendo necessário apenas uma cloração. Para casos gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz a este padrão.</i>	Turbidez: < 10,0 NTU; Coliforme fecal: < 500 NMP/100 mL;

Tabela 1 (continuação) – Classes e Parâmetros conforme NBR 13.696 de 1997

Classe 4	Reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. <i>Obs: As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.</i>	Coliforme fecal: < 5 000 NMP/100 mL Oxigênio Dissolvido: > 2,0 mg/L.
-----------------	--	---

Por fim, embora sem relação direta com a prática do reuso, todo uso de água para consumo potável, em território nacional, deve considerar as diretrizes da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde (antiga Portaria 2914), Anexo XX, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

3.2.2 Regulamentação do Reuso de água no Estado de São Paulo

Devido sua vocação industrial, o Estado de São Paulo é pioneiro no estabelecimento de normas de controle da poluição ambiental. Entre elas, destaca-se o Decreto Estadual Nº 8.468, de 08 de setembro de 1976, que aprova o Regulamento da Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente (SANTOS *et al.*, 2006).

Em seu Título II - "Da Poluição das Águas", integram os Artigos 7º ao 19º, dispondo sobre a classificação dos corpos d'água, padrões de qualidade e lançamento. Com relevância para aplicações de água de reuso, são considerados o Art. 11 - Parâmetros para a manutenção de águas de Classe 2; Art 18 - Padrões de Lançamento de Efluentes em Corpos d'água; e Art 19 - Padrões de Lançamento de Efluentes em sistema público de esgoto.

Mais recente, e criada com o propósito de regulamentar o uso urbano e não-potável, de efluente doméstico tratado, como água de reuso, o Estado também dispõe da Resolução Conjunta das Secretarias de Estado da Saúde, do Meio Ambiente e de Saneamento e Recursos Hídricos (SES/SMA/SSRH) Nº 01, de 28 de Junho de 2017. Nesta Resolução, são estabelecidas duas classes de reuso, sendo a Classe I - Uso com Restrições Moderadas, e a Classe II - Uso com Restrições Severas. Cada classe possui parâmetros definidos e frequência de monitoramento, sendo a Classe I mais restritiva que a Classe II. Os parâmetros de qualidade e sua frequência de monitoramento, são descritos nas Tabelas 2 e 3.

3.2.3 Regulamentação do Reuso de água no município de Campinas-SP

No município de Campinas-SP existe uma resolução que tem o objetivo de regulamentar o uso urbano e não-potável, de efluente doméstico tratado, como água de reuso. Trata-se da Resolução Municipal nº 09/2014, que define os tipos de uso e estabelece duas classes de reuso, Classe A e a Classe B. Cada classe possui parâmetros definidos e frequência de monitoramento, conforme as Tabelas 4 e 5.

Tabela 2 – Classes e Parâmetros Conforme Resolução SES/SMA/SSRH Nº 01/2017

Classe	Tipo de Uso	Parâmetros
Classe I	<ul style="list-style-type: none"> - Irrigação paisagística; - Lavagem de logradouros e outros espaços públicos e privados; - Construção civil; - Desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgotos; - Lavagem interna e externa de veículos; - Combate a incêndio. 	<p>pH: 6 a 9 DBO_{5,20}: ≤ 10,0 mg/L Turbidez: ≤ 2,0 NTU Sólidos Suspensos Totais: ≤ 0,5 mg/L Coliforme Termotolerante: Não detectável /100 ml Ovos helmintos: < 1 ovo/L Cloro Residual Total (CRT): < 1,0 mg/L Condutividade Elétrica (CE): 0,7 dS/m RAS*: < 3,0 Sólidos Dissolvidos Totais: < 450,0 mg/L Cloreto: < 106,0 mg/L Boro: <0,7 mg/L Tipo de tratamento: Tratamento secundário, desinfecção e filtração. Sem níveis mensuráveis de patógenos.</p>
Classe II	<ul style="list-style-type: none"> - Irrigação paisagística; - Lavagem de logradouros e outros espaços públicos e privados; - Construção civil; - Desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgotos; - Lavagem externa de veículos. 	<p>pH: 6 a 9 DBO_{5,20}: ≤ 30 mg/L Turbidez: - Sólidos Suspensos Totais: ≤ 0,5 mg/L Coliforme Termotolerante: < 200 UFC/100 ml Ovos helmintos: 1 Ovo/L Cloro Residual Total (CRT): < 1,0 mg/L Condutividade Elétrica (CE): 3,0 dS/m RAS*: entre 3,0 e 9,0 Sólidos Dissolvidos Totais: < 200,0 mg/L Cloreto: < 350,0 mg/L Boro: <2,0 mg/L Tipo de tratamento: Tratamento secundário, desinfecção e filtração.</p>

*RAS: Razão de Adsorção de Sódio, determinado na água de irrigação e indicando a quantidade relativa de sódio (meq/L) que pode ser adsorvido pelo solo. Seu cálculo depende da determinação dos teores de cálcio (meq/L) e magnésio (meq/L). Seu cálculo se dá pela fórmula:

$$RAS = Na^+ / [(Ca^{++} + Mg^{++}) / 2]^{1/2}$$

Tabela 3 – Frequência de Monitoramento Resolução SES/SMA/SSRH Nº 01/2017

Frequência	Parâmetro
Diária	pH, Condutividade Elétrica, Turbidez e Cloro Residual Total
Semanal	DBO _{5,20} , Coliforme Termotolerante ou <i>E. coli</i> , Sólidos Dissolvidos Totais e Sólidos Suspensos Totais
Quinzenal	Ovos de Helmintos
Mensal	<i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i> (Classe I), Boro, RAS e Cloreto
Anual	Os demais parâmetros, não relacionados anteriormente, constantes no Artigo 21 da Resolução CONAMA nº 430/2011 e no artigo 18º do Regulamento da Lei Estadual nº 997/1976, aprovado pelo Decreto Estadual nº 8.468/76.

Tabela 4 – Classes e Parâmetros Conforme Resolução Municipal nº 09/2014

Classe	Tipo de Uso	Parâmetros
Classe A	<p>- Reuso para fins urbanos destinados ao Corpo de Bombeiros, utilizada no combate a incêndio;</p> <p>- Reuso para fins urbanos destinados a lavagem automatizada externa de veículos, caminhões de resíduos sólidos domésticos, de coleta seletiva, de construção civil, trens e aviões</p>	<p>DBO_{5,20}: ≤ 5,0 mg/L Turbidez: ≤ 1,0 NTU Sólidos Suspensos Totais: ≤ 5,0 mg/L Coliforme Termotolerante: ≤ 100 UFC/100 ml Cloro Residual Total*: > 1,5 mg/L Cloro Residual Livre*: > 1,5 mg/L Cloreto Total: ≤ 250,0 mg/L Sódio: ≤ 200,0 mg/L</p> <p>OBS: ETEs produtoras de água de reuso devem atender aos parâmetros de lançamento estabelecidos no artigo 21 da Resolução CONAMA 430/2011 e Artigo 18 do Regulamento da Lei 997/1976, regulamentada pelo Decreto 8468/1976 e suas alterações.</p>

*Após 30 minutos de contato

Tabela 4 (continuação) – Classes e Parâmetros Conforme Resolução Municipal 09/2014

<p>Classe B</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Reuso para fins urbanos destinados a irrigação paisagística, de caráter esporádico, ou sazonal, de parques, jardins, campos de esporte e de lazer urbanos, ou áreas verdes de qualquer espécie; - Reuso para fins urbanos destinados a lavagem de logradouros e outros espaços, públicos e privados; - Reuso para fins urbanos destinados à construção civil, incorporada ao concreto não estrutural, cura de concreto em obras, umectação para compactação em terraplenagens, lamas de perfuração em métodos não destrutivos para escavação de túneis e instalação de dutos, resfriamento de rolos compressores em pavimentação e controle de poeira em obras e aterros; - Reuso para fins urbanos destinados a desobstrução de galerias de água pluvial e de rede de esgotos; - Reuso para fins industriais destinados a usos em processos, atividades e operações industriais. 	<p> $DBO_{5,20} \leq 30 \text{ mg/L}$ Turbidez: $\leq 5,0 \text{ NTU}$ Sólidos Suspensos Totais: $\leq 30,0 \text{ mg/L}$ Coliforme Termotolerante: 200 UFC /100 ml <i>Giardia e Cryptosporidium</i>: $0,05 \text{ cistos/L}$ Ovos de Helmintos: $< 1 \text{ ovo/L}$ Cloro Residual Total*: $\leq 3,0 \text{ mg/L}$ Cloro Residual Livre*: $\leq 2,0 \text{ mg/L}$ Cloreto Total: $\leq 250,0 \text{ mg/L}$ Sódio: $\leq 200,0 \text{ mg/L}$ </p> <p>OBS: ETEs produtoras de água de reuso devem atender aos parâmetros de lançamento estabelecidos no artigo 21 da Resolução CONAMA 430/2011 e Artigo 18 do Regulamento da Lei 997/1976, regulamentada pelo Decreto 8468/1976 e suas alterações.</p>
------------------------	---	---

*Após 30 minutos de contato

Tabela 5 – Frequência de Monitoramento Conforme Resolução Municipal nº 09/2014

Frequência	Parâmetro
Diária	Turbidez, Cloro Residual Total e Cloro Residual Livre
Semanal	$DBO_{5,20}$, Sólidos em Suspensão Totais, Coliformes Termotolerantes ou <i>E. Coli</i>
Trimestral	Sódio e Cloreto
Semestral	<i>Giardia e Cryptosporidium</i> , Ovos de Helmintos.
Anual	Os demais parâmetros, não relacionados anteriormente, constantes no Artigo 21 da Resolução CONAMA nº 430/2011 e no artigo 18º do Regulamento da Lei Estadual nº 997/1976, aprovado pelo Decreto Estadual nº 8.468/76, que não foram relacionados anteriormente.

3.2.4 Especificações Técnicas para Reuso Industrial

Dada sua característica, as especificações para reuso industrial dependem do tipo de indústria e tipo de processo ou finalidade na qual está se empregando água de reuso. Porém, uma categoria pode ser considerada como exceção à essa regra, por ser de ampla utilização em todos os segmentos industriais: o emprego de água de reuso como fluido de aquecimento e/ou resfriamento (CNI, 2017).

Sobre os padrões de qualidade recomendados para resfriamento e geração de vapor, os mesmos estão compilados na Tabela 6, confeccionada a partir dos dados levantados a partir da Guidelines for Water Reuse EPA – 1992 e Crook (1996 *apud* CNI, 2017).

3.3 Tratamento de Efluentes

O tratamento de águas residuárias divide-se em quatro níveis: preliminar, primário, secundário e terciário. No início do processo, o tratamento preliminar visa remover sólidos em suspensão grosseiros (ex.: materiais de maiores dimensões, areia). Esta etapa é constituída por mecanismos físicos de remoção de poluentes, tais como gradeamento, desarenador e peneiramento (JORDÃO; PESSOA, 2014).

Ainda de acordo com Jordão e Pessoa (2014), o tratamento primário tem por objetivo a remoção de sólidos em suspensão/sedimentáveis e uma parcela da matéria orgânica. Nessa etapa são adotados mecanismos físicos de separação, como a sedimentação e a flotação, podendo ser empregados mecanismos químicos de remoção como a coagulação e a floculação. A separação de óleos e graxas pode ocorrer por gravidade ou flotação.

O tratamento secundário, por sua vez, objetiva remover nutrientes e o restante da matéria orgânica, por meio de mecanismos biológicos. Nessa fase, a ação de microrganismos transforma a matéria orgânica em substâncias de estrutura molecular simples e baixo conteúdo energético. Há diversos tipos de tratamento secundário: lagoas, lodos ativados, filtros biológicos, dentre outros (von SPERLING, 2014).

Por fim, o tratamento terciário visa remover os poluentes remanescentes do tratamento secundário e poluentes específicos, tais como metais pesados e microrganismos patogênicos. A técnica adotada nessa etapa é definida

conforme o poluente a ser removido (ex.: lagoas de maturação, ozonização, filtros de carvão ativado, precipitação química) e, costumam possuir custos de implantação e operação elevados (von SPERLING, 2014).

Formas avançadas de tratamento, além das já citadas, podem se fazer necessárias para remoção de compostos como resíduos farmacêuticos e substâncias químicas, em escala industrial (HUERTA-FONTENELA *et al.*, 2010). Isso ocorre porque os tratamentos convencionais removem apenas parcialmente estes componentes, sendo necessário que as ETE sejam complementadas. Para desinfecção, diversas tecnologias podem ser empregadas: ozônio, luz ultravioleta (UV) e oxidações avançadas por vias catalíticas, eletroquímicas ou físicas (MIKLOS *et al.*, 2018). Águas residuárias provenientes de instalações como hospitais, laboratórios e criadouros de animais também deveriam contar com dispositivos de tratamento avançado para garantir a sua desinfecção antes de integrar a rede de coleta, com intuito de prevenir a disseminação de agentes patógenos (ZHANG *et al.*, 2016).

Cumpra destacar que, independentemente do método aplicado, o grau de tratamento a ser adotado depende da qualidade a ser alcançada, com base em parâmetros definidos por leis e normativas em vigor (TREVISAN; ORSSATTO, 2014).

3.3.1 Tratamento Biológico de Efluentes – Tratamento Secundário

De acordo com Von Sperling (2007), conforme o nome sugere, o tratamento biológico de efluentes consiste em reproduzir os mecanismos biológicos naturais de degradação e assimilação que uma corrente de efluente estaria sujeita ao ser despejada num curso d'água. Porém, com emprego de tecnologia, as variáveis inerentes ao processo de depuração biológica, ocorrem em condições controladas, ocupando menor espaço e tomando menos tempo.

Ainda conforme Von Sperling (2007), é nesta etapa que se promove o contato do efluente com os microrganismos, que usam o efluente como alimento. Tanto o tipo de efluente, quanto o tipo de técnica empregada para tratamento, influi na composição da população de microrganismos que irá se desenvolver para consumir o efluente.

Tabela 6 – Parâmetros de Qualidade para Água de Resfriamento e Caldeiras

Parâmetro ^{-x-}	Água de Resfriamento	Geração de Vapor - Caldeiras		
		Baixa Pressão (< 10 Bar)	Média Pressão (10 a 50 Bar)	Alta Pressão (> 50 Bar)
Alcalinidade	350,0	350,0	100,0	40,0
Alumínio	0,1	5,0	0,1	0,01
Bicarbonato	24,0	170,0	120,0	48,0
Cálcio	50,0	-	0,4	0,01
Cloretos	500,0	-	-	-
Cobre	-	0,5	0,05	0,05
Compostos Orgânicos	1,0	1,0	1,0	0,5
DBO	25,0	-	-	-
DQO	75,0	5,0	5,0	1,0
Dureza	650,0	350,0	1,0	0,07
Ferro	0,5	-	-	-
Fosfato	4,0	-	-	-
Magnésio	0,5	*	0,25	0,01
Manganês	0,5	-	-	-
Nitrogênio Amoniacal	1,0	0,1	0,1	0,1
Oxigênio Dissolvido	-	2,50	0,0070	0,0007
pH	6,9 a 9,0	7,0 a 10,0	8,2 a 10,0	8,2 a 9,0
Sílica	50,0	30,0	10,0	0,7
Sólidos Dissolvidos Totais	500,0	700,0	500,0	200,0
Sólidos Suspensos Totais	100,0	10,0	5,0	0,5
Substâncias extraídas em tetracloreto de carbono	-	1,0	1,0	0,5
Sulfato	200,0	*	*	*
Turbidez	100,0	-	-	-
Zinco	-	*	0,01	0,01

-x- todos em mg/L, exceto pH

* aceito como recebido, caso demais valores estejam dentro da especificação

3.3.1.1 Matéria Orgânica

A matéria orgânica, cuja remoção é o principal objetivo do tratamento secundário de efluentes, ocorre nas correntes de efluentes domésticos e industriais sob diversas formas. Determinar sua composição exata por meio de análises laboratoriais é difícil e, em termos práticos, desnecessário, uma vez que a eficiência em remoção de matéria orgânica do tratamento pode ser determinada através de métodos indiretos de quantificação como (von SPERLING, 2007):

- DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio): Considerando que o efeito do lançamento de carga orgânica num corpo d'água eleva a atividade microbiana e o consumo de oxigênio pelas mesmas, o que, por consequência, diminui o teor de oxigênio dissolvido deste corpo d'água, a ideia deste parâmetro é associar o decaimento do oxigênio dissolvido com a “força poluidora” desta carga orgânica. O teste laboratorial tem por padrão a medição da oxidação biológica de uma amostra de efluente ao longo de 5 dias, a 20°C. Por isso, a DBO pode ser encontrada definida pela sigla “DBO^{5,20}”.
- DQO (Demanda Química de Oxigênio): Mede o consumo de oxigênio na oxidação química da matéria orgânica. Além da diferença de nomenclatura, trata-se de um teste mais rápido, obtido através de um oxidante forte em meio ácido.

A relação entre DQO/DBO pode trazer conclusões a respeito da biodegradabilidade do efluente e do tipo de tratamento necessário. Conforme Braile e Cavalcanti (1979 *apud* von SPERLING, 2007).

Tabela 7 – Conclusões Relação DQO/DBO

Relação DQO/DBO	Conclusões
< 2,0 ou 3,0	- a fração biodegradável é alta - bom indicador de tratabilidade biológica
entre 2,0 e 4,0	- a fração inerte (não biodegradável) não é alta - estudos de tratabilidade necessários para verificar a viabilidade de tratamento biológico
> 3,5 ou 4,0	- a fração inerte (não biodegradável) é alta - possível indicador da necessidade de tratamento físico químico

Quanto à eficiência de remoção da matéria orgânica (ou qualquer outro poluente) de um tratamento, ou de determinado estágio do tratamento, a mesma pode ser dada pela Equação 1 (von SPERLING, 2007):

$$E = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \cdot 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

E = eficiência de remoção (%)

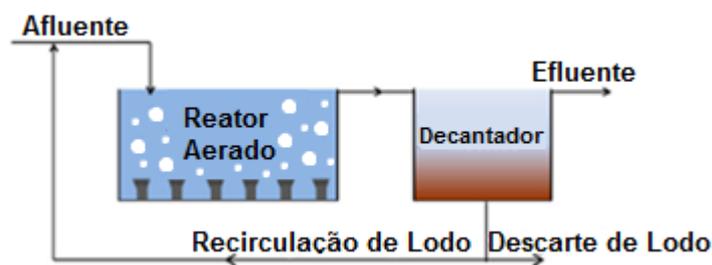
C_0 = concentração presente no afluente (entrada) (mg.L^{-1})

C_e = concentração presente no efluente de saída (mg.L^{-1})

3.3.1.2 Lodos Ativados

Conforme Hreiz *et al.* (2015), a técnica de tratamento biológico de efluente denominada Lodos Ativados, por sua eficiência elevada e operação relativamente simples, fazem com que esse sistema seja o mais utilizado no mundo, tanto para tratamento de esgotos domésticos, quanto para águas residuárias industriais. Ainda de acordo com Hreiz *et al.* (2015), as estruturas essenciais a qualquer sistema de fluxo contínuo de tratamento por lodos ativados são ilustradas conforme a Figura 1 e seu descritivo.

Figura 1 - Esquema Lodos Ativados Básico



Fonte: Adaptado de Hreiz *et al.* (2015)

Ainda de acordo com Hreiz *et al.* (2015), a infraestrutura de um lodo ativado básico (Figura 1) consiste em:

- Um único Reator, operando continuamente, onde microrganismos suspensos consomem a matéria orgânica dissolvida. O reator é aerado para fornecer oxigênio dissolvido para a biodegradação

aeróbia. As bactérias consomem os compostos carbonáceos para satisfazer suas necessidades energéticas e, ao combinar com uma pequena fração de amônia e fósforo, os sintetizam em novos tecidos celulares.

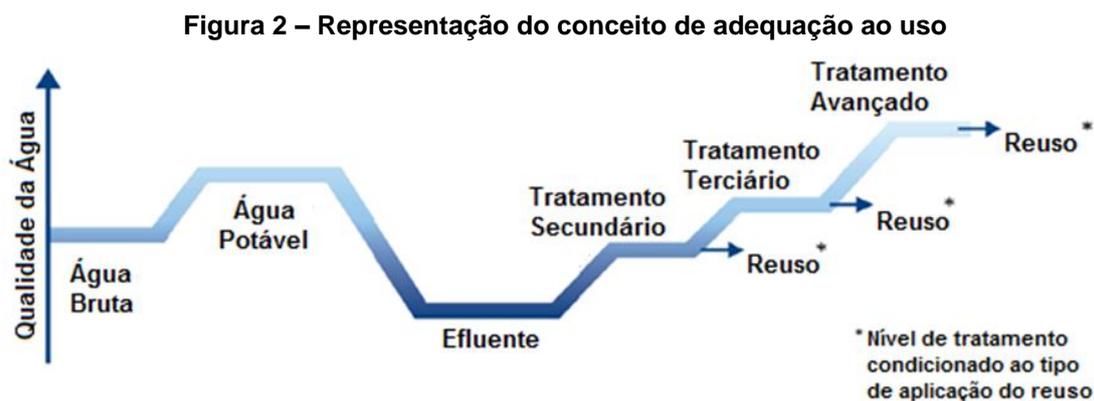
- Um tanque de decantação chamado de decantador secundário ou clarificador, onde o lodo ativado (biomassa floculada) é gravitacionalmente separado das águas residuais tratadas. O efluente transborda no corpo de água receptor, mas, em algumas ETE, podem passar por tratamentos adicionais como filtração e desinfecção, antes de ser descartado.
- Uma linha de recirculação de lodo que retorna a maior proporção do lodo sedimentado para o biorreator, permitindo a manutenção de uma alta concentração bacteriana no reator, de modo a intensificar a remoção biológica de nutrientes.
- Uma linha de descarte de lodo na parte inferior do decantador, de onde é retirada uma pequena fração de lodo a fim de estabilizar a concentração de biomassa no reator e para fixar uma idade de lodo adequada. O excesso de lodo retirado é, então, tratado separadamente.

De acordo com von Sperling (2007), uma das variações possíveis para o Lodos Ativados é chamada de “Lodos Ativados de Operação Intermitente (Reator de Bateladas Sequenciais)”. Nesta modalidade, o reator e o tanque de decantação são a mesma estrutura, diferenciando as etapas de biodegradação e decantação através do controle da operação da aeração. Ao desligar a aeração os sólidos sedimentam, permitindo o descarte do efluente tratado sobrenadante. Ao religar a aeração, os sólidos sedimentados são colocados em suspensão em contato com efluente novamente. Nesta modalidade, não há necessidade de recirculação de lodo.

3.3.2 Tratamentos Terciários – Produção de Água de Reuso

O reuso ainda precisa se justificar financeiramente, tecnicamente e institucionalmente sobre as fontes tradicionais. No entanto, várias opções de tratamento estão disponíveis para se atingir qualquer padrão de qualidade em

função do uso pretendido da água de reuso. Como o nível de tratamento fica condicionado ao uso da água, pode-se controlar os custos envolvidos no abastecimento de água, ao passo que o investimento em melhorias no tratamento de águas residuárias, para além do nível secundário, são feitos na medida em que os benefícios atuais, ou futuros, os justifiquem. Este conceito pode ser verificado na Figura 2 (USEPA, 2012).



Fonte: Adaptado de USEPA, 2012

Neste sentido, a adequação a usos mais restritivos envolve o emprego de tratamentos adicionais, terciários e/ou avançados (Tabela 8). Este tipo de tratamento consiste na utilização de uma ou mais tecnologias para remoção de contaminantes específicos (geralmente compostos tóxicos ou não biodegradáveis), ou complementação da remoção promovida pelo tratamento secundário (von SPERLING, 2007).

Quando considerado o reuso, a desinfecção é considerada uma etapa básica, porém, antes de ser efetivada, uma série de técnicas e tecnologias consideradas como “primárias” podem atingir os objetivos de um tratamento terciário, enquanto podem, também, realizar a desinfecção (SALGOT; FOLCH, 2018). Algumas tecnologias de desinfecção são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 8 – Técnicas de Tratamento e Eficiência

Técnica	Eficiência
Abrandamento	Remoção de Sólidos Dissolvidos Ionizáveis: Boa Remoção de Particulados: Boa
Clarificação: Coagulação-Floculação- Sedimentação	Remoção de Particulados: Total ou Quase total

Fonte: adaptado de CNI (2017)

Tabela 8 (continuação) – Técnicas de Tratamento e Eficiência

Dessalinização: Deionização, eletrodialise e eletrodeionização	Remoção de Sólidos Dissolvidos Ionizáveis: Total ou Quase Total Remoção de Gases Dissolvidos Ionizáveis: Total ou Quase Total
Dessalinização & Filtração: Osmose Reversa	Remoção de Bactérias e Vírus: Total ou Quase Total Remoção de Endotoxinas: Total ou Quase Total Remoção de Sólidos Dissolvidos Ionizáveis: Boa Remoção de Compostos Orgânicos Dissolvidos: Boa Remoção de Particulados: Total ou Quase Total
Evaporação	Remoção de Bactérias e Vírus: Total ou Quase Total Remoção de Endotoxinas: Total ou Quase Total Remoção de Sólidos Dissolvidos Ionizáveis: Quase Total Remoção de Compostos Orgânicos Dissolvidos: Boa Remoção de Particulados: Total ou Quase Total
Filtração: Carvão Ativado	Remoção de Compostos Orgânicos Dissolvidos: Quase Total OBS: Remoção de Cloro
Filtração: Meio granular ou poroso	Remoção de Particulados: Total ou Quase total
Filtração: Microfiltração	Remoção de Particulados: Total ou Quase total
Filtração: Ultrafiltração	Remoção de Bactérias e Vírus: Total ou Quase Total Remoção de Particulados: Total ou Quase Total

Fonte: adaptado de CNI (2017)

Tabela 9 – Tecnologias de Desinfecção

Tipo	Tecnologia	Comentários
Físico	Radiação Ultravioleta	Múltiplas lâmpadas são recomendadas para a desinfecção de efluentes. Troca das lâmpadas deve ser realizada para manter a eficiência. Não eficaz em efluentes turvos.
	Ultrafiltração por Membranas	Eficiência condicionada à porosidade da membrana e à concentração de sólidos em suspensão no efluente.
Químico	Cloração	A tecnologia mais popular. Tem na ação residual seu maior diferencial. Pode ser empregada em conjunto com outras tecnologias de desinfecção. Pode desencadear a transformação de compostos químicos ao interagir com matéria orgânica e outros poluentes.
	Ácido Peracético	Tecnologia que vem se tornando mais acessível com o tempo. Não forma subprodutos.
	Ozônio	Tecnologia cara e não recomendada para pequenas instalações ou combinada com tratamentos intensivos.
Outros	Lagoas e sistemas de maturação adicionais	Desinfecção pela radiação solar ultravioleta combinado a longo tempo de residência.
	Wetlands, infiltração-percolação	Faz uso da capacidade de infiltração e depuração do solo, bem como da biota presente no solo.

Fonte: adaptado de Salgot e Folch (2018)

Tabela 9 (continuação) – Tecnologias de Desinfecção

Tecnologias Combinadas	UV + Cloração ou Membranas + Cloração	A cloração tem por efeito a garantia da ação residual da desinfecção.
-------------------------------	--	---

Fonte: adaptado de Salgot e Folch (2018)

3.3.3 Tratamentos para Reuso – Águas de Resfriamento e Caldeiras

Considerando os cuidados necessários para utilização de água na indústria, particularmente ao uso em sistemas de resfriamento e caldeiras, serão detalhados os processos básicos de tratamento, conforme descrito pela CNI (2017):

- **Clarificação:** A combinação de coagulação, floculação e sedimentação é chamada de clarificação convencional. Necessita de três processos unitários para ocorrer: mistura rápida para coagulação; mistura lenta para floculação; e separação de água e flocos (decantação).
- **Filtração:** Remoção adicional de sólidos através do fluxo por meio filtrante. Podem ser por gravidade ou pressão e ainda são subdivididos de acordo com o tipo de meio filtrante utilizado. Devem ser lavados periodicamente (retro lavagem) para remover os sólidos acumulados no meio filtrante.
- **Abrandamento:** Visam remover a dureza da água. Para isso, os abrandadores utilizam resinas que contém íons de sódio fracamente ligados e libertam o sódio prontamente em troca de íons como cálcio e magnésio. A resina de abrandamento é chamada de resina de troca iônica. O abrandador precisa ter uma frequência de regeneração, condicionada a: vazão e concentração de cálcio e magnésio da água, da quantidade de resina de troca e da quantidade de sais usada por regeneração.
- **Desmineralização:** Trata-se da remoção de todos os sais inorgânicos da solução, através de troca iônica ou de osmose reversa. Consiste de dois ou mais vasos de troca iônica, incluindo: uma unidade de troca catiônica e uma unidade de troca aniônica. Na primeira, íons de hidrogênio (H⁺) são trocados por cátions indesejáveis, como cálcio, magnésio e sódio. Na segunda, íons

hidroxila (OH⁻) são trocados por ânions indesejáveis, como sulfato, cloreto, bicarbonato ou nitrato. As resinas devem ser retrolavadas e regeneradas ao detectar saturação das resinas, indicados pelo aumento de condutividade ou teor de sílica. Ácido sulfúrico é utilizado para regenerar a resina catiônica, e Hidróxido de cálcio ou cáustico é utilizado para a unidade aniônica.

- **Osmose Reversa:** Sistema de desmineralização que vem substituindo o uso de resinas catiônicas e aniônicas devido ao elevado grau de pureza alcançado, ideal para usos mais restritivos. Além da dessalinização, são observadas reduções de particulados, vírus e bactérias, toxinas e redução nos teores de rádio, arsênio, perclorato, fluoreto, nitrato, dureza urânio e selênio.

3.4 Estudos atuais – Sistemas de Tratamento com foco em Reuso

Nesta seção serão apresentados estudos atuais sobre sistemas de tratamento de efluentes com foco de reuso, demonstrando o uso de técnicas discutidas até então, bem como alguns exemplos de aprimoramento de estações e viabilização da prática de reuso.

Xu *et al.* (2019) estuda uma estação de tratamento de efluentes equipada com uma combinação de sistemas de filtração multimídia, sistema de ultrafiltração por membranas e osmose reversa, com objetivo de verificar se a água de reuso produzida poderia ser utilizada para suplementação do abastecimento por água superficial e para irrigação de estufas. Os resultados do estudo apontaram que o sistema combinado de filtração atende aos parâmetros para águas superficiais, além de promover remoção de nitrogênio do efluente da ETE. A água do sistema de ultrafiltração atende aos parâmetros de irrigação e pode ser usada no pré-tratamento da osmose reversa, nas operações de retrolavagem e regeneração.

Araujo e Tavares (2018) realizaram uma avaliação de potencial de reuso do efluente produzido pela ETE Dom Nivaldo, em Natal-RN. Foi realizado o levantamento das normas e recomendações aplicáveis, seguido de uma caracterização do efluente. Os resultados apontaram que o reuso agrícola, conforme as especificações da USEPA (1992), é viável. O reuso urbano, agrícola e industrial, em acordo com as especificações brasileiras, seria viável mediante

a adequação das concentrações de DBO e coliformes termotolerantes. Para tanto, propõe-se a melhoria do tratamento secundário, mediante a instalação de filtros após os reatores, e a adição de tratamento terciário baseado em cloração e emissão ultravioleta.

Bailey *et al.* (2018) avaliou a eficiência de sistemas combinados de desinfecção (cloração + UV) para melhoria da qualidade microbiológica da água de reuso para usos potáveis e não potáveis em instalações da Carolina do Norte (EUA). Pelos padrões vigentes na área de estudo, o estudo não foi conclusivo em apontar que o método de desinfecção era suficiente para melhoria da qualidade microbiológica. No entanto, as instalações do estudo eram desprovidas de sistemas de filtração por membranas.

Abdel-Shafy e Mansour (2017) realizou um estudo de caso a respeito da melhoria de estações de tratamento de efluentes baseada em reuso. A pesquisa reforça que as modificações devem estar alinhadas com a finalidade de reuso, as novas instalações devem ser flexíveis, para adequação a mudanças futuras, e prática do reuso pode trazer melhorias à gestão ambiental ao colocar em perspectiva as melhorias econômicas e ambientais (redução do lançamento de carga poluidora).

Andrade *et al.* (2017) avaliou a possibilidade de reuso direto, ou seja, sem tratamento prévio, do efluente de um sistema de osmose reversa em uma indústria farmacêutica. A avaliação quantitativa, qualitativa e econômica, mostraram que o efluente possui características que viabilizam seu reuso como fluido de aquecimento e resfriamento, gerando uma economia anual de \$96.000 USD por ano.

Ghaneian *et al.* (2017) investigaram a viabilidade de um tratamento terciário baseado em coagulação-floculação-sedimentação objetivando o reuso do efluente em irrigação. As melhores eficiências em remoção de DBO, DQO, turbidez e sólidos suspensos totais são obtidas utilizando os coagulantes PAC (policloreto de alumínio) e FeCl₃ (cloreto de ferro III). Utilizando somente o PAC, ou PAC + FeCl₃, seguido de cloração, os parâmetros para irrigação foram atendidos.

Weber *et al.* (2010) defende o reuso como ferramenta de revitalização de uma estação de tratamento de efluentes. A melhoria foi obtida através da reutilização em nível primário, reduzindo a carga de efluente enviada para

tratamento na ETE. Tratando uma menor vazão, houve tanto melhora na eficiência, quanto redução no descarte de efluentes, a uma taxa próxima de 50%. O reuso em nível primário também reduziu a adução de água de fontes naturais para níveis em torno de 40% da demanda original. As óbvias melhorias qualitativas e econômicas sugerem que, antes de estudar a melhoria de sistemas existentes, devem ser verificadas as possibilidades de reuso de efluentes brutos ou que necessitam de níveis menores de tratamento.

Sumisha *et al.* (2015) estuda o tratamento de de efluentes de uma lavanderia realizado exclusivamente por meio de membranas de ultrafiltração. Enquanto o estudo tem um foco em avaliar a eficácia de diferentes configurações com diferentes tipos de membranas, conclui-se que este tipo de tratamento, para este tipo de efluente, pode atingir eficiências elevadas (próximas de 80%), na remoção de sólidos totais dissolvidos e condutividade.

Colla *et al.* (2016) faz uso de técnicas de osmose reversa para eliminação de sais no tratamento de efluentes de uma indústria metalúrgica com foco em reuso. Utilizando um tratamento prévio composto por clarificação combinado à filtração, a aplicação de osmose reversa atingiu remoções significativas de cloretos (92%), alcalinidade (95%), condutividade elétrica (97%) e sólidos totais dissolvidos (95%), resultando não apenas na melhoria da qualidade da água de reuso como, também, no aumento da vida útil das tubulações, justificando seu investimento.

George *et al.* (2015) analisa a combinação de um sistema de tratamento físico químico de clarificação, seguido de filtração e, posteriormente, osmose reversa, no tratamento de efluentes de um cortume. O foco do estudo se encontra na redução de Cromo, metal presente no efluente do cortume, cuja redução pode ser alcançada com as técnicas de clarificação e coagulação. O estudo conclui que o efluente tratado pela osmose reversa atinge parâmetros tão elevados, que são comparáveis aos da água de entrada do processo de curtimento. Não é necessário, portanto, o emprego desta técnica para as aplicações previstas para o reuso nesta instalação. Entre os resultados obtidos pelo experimento com a osmose reversa, destacam-se as reduções significativas de: salinidade (96%), sólidos totais dissolvidos (95%), condutividade (95%) e sílica (85%).

Cristóvão *et al.* (2015) realizaram um estudo de caso de um sistema de tratamento de efluentes em uma indústria de conservas de peixe. O sistema é composto por etapas de sedimentação e clarificação em nível primário, tratamento biológico por lodos ativados em nível secundário, e tratamento terciário composto por osmose reversa e desinfecção por radiação ultravioleta. O sistema possui alta eficiência na adequação do efluente tratado para padrões de reuso na indústria, destacando-se a taxa de 99% de remoção de salinidade e condutividade, promovida pela osmose reversa.

Salgot e Folch (2018) citam a tecnologia MBR (*Membrane Biological Reactors*) como uma das alternativas de tecnologias para tratamento avançado de efluente em nível secundário, antes da desinfecção. Esta tecnologia consiste na combinação do lodo ativado clássico (reator biológico) com membranas, no mesmo tanque, para promover a separação dos flocos de lodo. Os seguintes trabalhos comentados possuem em comum o uso desta tecnologia:

- Jamshidi e Niksokhan (2017) estudaram a melhoria de uma estação de tratamento de efluentes de uma empresa farmacêutica localizada no Egito. O tratamento antigo, baseado em lodos ativados, era eficiente no atendimento das normas locais para reuso em irrigação, porém não removia hormônios e ativos farmacêuticos. A melhoria nesse aspecto pode ser obtida através da instalação de um novo reator anaeróbio, combinado a tecnologia de tratamento por reator MBR, a nível secundário.
- Andrade *et al.* (2015) avalia a viabilidade técnica e econômica de um sistema de tratamento de efluentes, em escala piloto, de uma indústria de laticínios, composto por Reator MBR seguido de nanofiltração. O sistema proposto atingiu eficiências de 93% na remoção de sólidos totais dissolvidos, 74% na remoção de alcalinidade, e atinge os padrões de reuso para águas de resfriamento e geração de vapor em pressão inferior à 10 bar.
- Mannina *et al.* (2016) avalia uma campanha experimental de um reator MBR em escala piloto, projetado para o tratamento de efluente de navios, rico em salinidade e matéria orgânica de difícil degradação (óleo diesel). O estudo chegou a obter uma boa eficiência em remoção de matéria orgânica, porém, concluiu que a aclimação biológica à

presença de sal e hidrocarbonetos deve ser lenta e gradual, superior ao tempo disponível para realização do estudo. O reator MBR pode ser uma possibilidade para o tratamento deste tipo de efluente, porém, sua implantação deve ser acompanhada de um estudo de viabilidade econômica.

- Jemli *et al.* (2015) avalia a eficiência de um reator MBR em uma indústria de processamento e conserva de peixes. O efluente possui elevada carga orgânica e salinidade. No entanto, as bactérias atuantes no tratamento são naturalmente resistentes à salinidade e tem sua origem em ambientes hipersalinos. A elevação da salinidade e da carga orgânica resultou em perda de eficiência das membranas por incrustação, elevando a necessidade de limpeza das mesmas e, por consequência, prejudicando a sedimentação e qualidade do efluente tratado.

4 METODOLOGIA

4.1 Descritivo da Área em Estudo

O estudo foi desenvolvido em um complexo industrial farmacêutico veterinário, localizado no município de Campinas, Estado de São Paulo. A empresa ocupa uma área construída de aproximadamente 12.000 m² e emprega, diretamente, cerca de 200 funcionários, divididos em turnos de trabalho administrativo e produtivo. A maioria das atividades ocorre no período diurno, porém, é comum que a empresa mantenha atividades produtivas 24 horas por dia, 7 dias por semana, dependendo da demanda. Quanto à capacidade produtiva atual, cerca de 18.500.000 de unidades de medicamentos veterinários podem ser produzidas anualmente, sendo a metade deste volume correspondente a produtos farmoquímicos e, a outra metade, correspondente a vacinas de uso veterinário.

A produção é responsável, diretamente, pela maior fração da demanda de água potável neste complexo industrial. Toda água residual, oriunda tanto de atividades produtivas quanto não produtivas, é eventualmente encaminhada para tratamento, onde, por sua vez, será adequada para o lançamento na via de esgotamento público, ou, será encaminhada para tratamento posterior, visando sua reutilização. O detalhamento das estruturas responsáveis pelo tratamento e reutilização da água serão detalhados nos próximos itens, e os dados referentes ao consumo e reutilização de água podem ser conferidos na Tabela 10 (p. 45).

4.1.1 Coleta e afastamento de efluentes

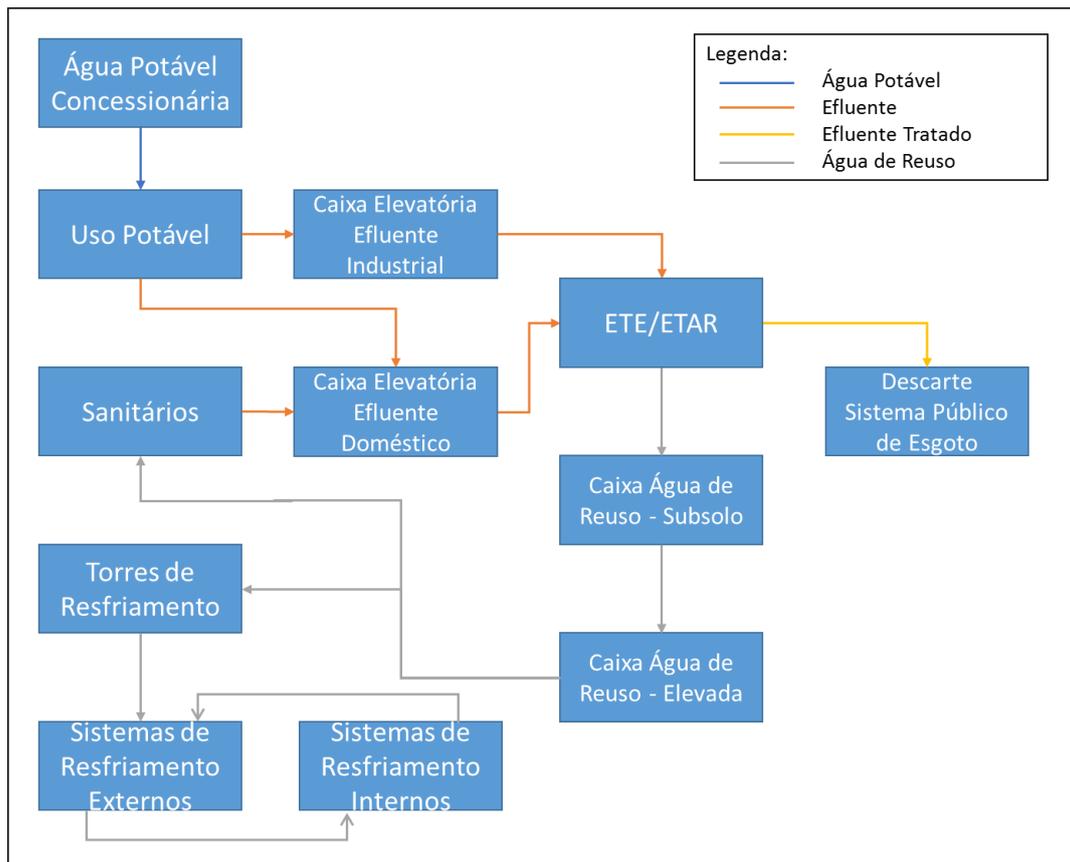
Uma vez que a água de processo produtivo é descartada, passa a ser caracterizada como Efluente Industrial Bruto, e pode seguir dois caminhos: segregação e descarte externo, ou seguir para a estação elevatória de efluentes industriais. Em ambos os casos, o efluente deve ser encaminhado conforme as normas e procedimentos ambientais aplicáveis, de modo a garantir seu transporte seguro e dentro dos parâmetros mínimos para entrada no tratamento.

As demais correntes descartadas, utilizadas em uso chamado de “doméstico” (consumo por funcionários, pias, chuveiros, rega de áreas verdes, limpeza, refeitório, etc), são denominadas Efluente Doméstico Bruto e seguem

para a respectiva estação elevatória de bombeamento. O destino das águas residuárias, provenientes de ambas as elevatórias, é a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). Nesta etapa, os efluentes são adequados tanto para descarte, quanto para reutilização como água de reuso. O descarte pode ser realizado imediatamente ao término do ciclo de tratamento, através da drenagem efluente tratado para galeria com ligação à via pública de esgotamento sanitário.

O reuso, por sua vez, é viabilizado pela Estação de Produção de Água de Reuso (EPAR), estruturalmente equipada para adequar os parâmetros do efluente tratado para dentro dos padrões de reuso. Atualmente, cerca de 44% de toda água potável é reutilizada diretamente em torres de resfriamento, sanitários e mictórios, enquanto os cerca de 56% restantes são descartados. Na Figura 3 é detalhado o fluxo da água na área de estudo.

Figura 3 – Representação do fluxo da água na área em estudo



4.1.2 Estação de Tratamento de Efluentes - ETE

As correntes de efluente bruto, uma vez segregados em suas elevatórias nominais, são bombeadas automaticamente até os reatores da ETE. O

automatismo que controla o bombeamento é um sistema de acionamento de bombas por boias de nível. Os efluentes bombeados são despejados sobre um dos reatores da ETE. O alinhamento, referente a qual reator receberá o efluente, é previamente determinado pelos operadores da estação, de maneira manual, via bloqueios de válvulas nas tubulações de entrada dos reatores.

O tratamento dos efluentes na área de estudo é realizado pela técnica de Lodos Ativados. A ETE em questão possui um sistema de Lodos Ativados diferente do convencional, funcionando por batelada e com aeração intermitente. A equipe operacional controla manualmente o ciclo de tratamento, direcionando a chegada do Efluente Bruto para o Reator vazio assim que o primeiro atinge nível máximo. O Reator cheio continua a receber aeração por 5:30h, tempo estabelecido em procedimento operacional para a degradação completa dos poluentes. Ao término de cada ciclo de 5:30h, o reator tem sua aeração desligada, com intuito de promover a separação de sólidos (lodo biológico) e líquido (efluente tratado) por meio de decantação. A decantação, de acordo com o procedimento operacional, deve durar mais 3:30h. Cada Reator possui capacidade total de 86 m³.

Após a decantação, cerca de 36 m³ irão corresponder ao volume de lodo, enquanto o restante compõe o efluente tratado. Desse volume de 50 m³ de efluente tratado, um máximo de 30 m³ por batelada poderá seguir para a Estação Produtora de Água de Reuso (EPAR), se houver demanda. O restante, ou até mesmo todo o volume, para o caso de não ser necessária a produção de água de reuso, segue para descarte na via de esgotamento público.

A ETE conta ainda com um sistema de descarte de lodo excedente, atualmente compartilhado com o lodo da EPAR, composto por dois reservatórios de lodo, ligados a cada um dos Reatores, uma dorna de mistura de polímero, uma centrífuga *decanter*, conjunto de bombas de polímero e lodo, e um suporte para contentor plástico de 1 m³ de capacidade destinado a segregar o lodo centrifugado para posterior destinação em conformidade com normas e procedimentos ambientais aplicáveis.

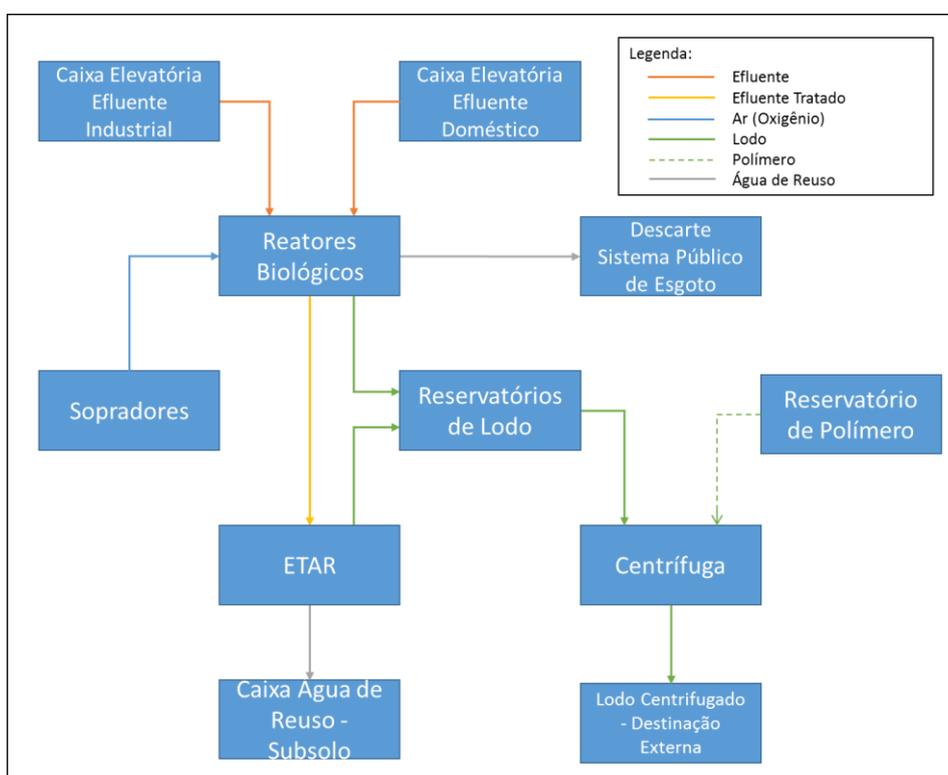
Nem todos os resíduos líquidos são enviados para a ETE, devido ao potencial impacto negativo que poderiam causar no meio biológico. Nesses casos específicos ocorre a segregação, conforme já detalhado. No caso de

qualquer descarte eventual ou fora da rotina, a fabricação deve informar a operação da ETE e negociar a forma adequada de envio.

A operação é inteiramente manual, não há rotina de análises de autocontrole do processo, somente parâmetros legais, realizadas por empresa terceirizada em frequência mensal. As operações descritas estão em forma de procedimentos, mas as memórias de cálculo e as decisões racionais para determinação das ações são atualmente desconhecidas, tanto pela operação, quanto pelo restante do setor responsável.

O fluxograma apresentado na Figura 4, detalha visualmente o processo da ETE.

Figura 4 – Fluxo do Processo ETE



O único indicador a ser acompanhado, de acordo com o procedimento atual, é a análise de Sólidos Sedimentáveis (SS) dos Reatores. Esta análise deveria ocorrer 1 vez por dia, por reator, com amostra coletada assim que o primeiro período de 5:30h terminasse. Está documentado que a decantação de 1 litro de amostra do reator, durante 1 hora em Cone tipo *Imhoff* (procedimento padrão da análise de Sólidos Sedimentáveis), se exceder o valor de 400 ml, deve

motivar a transferência do lodo do fundo do Reator para o sistema de descarte de lodo até que o sistema reestabeleça o valor de 400 ml/L/h de SS. Apesar de documentado desta forma, o procedimento não vem sendo seguido.

O descarte de lodo vem sendo realizado de maneira esporádica, de modo a encher e esvaziar, uma vez por mês, os reservatórios de lodo de fundo dos reatores, do sistema de descarte de lodo.

4.1.3 Estação de Produção de Água de Reuso – EPAR

O efluente tratado é encaminhado para a EPAR, onde ocorre um tratamento de água físico-químico composto pelas etapas de desinfecção, ajuste de pH, coagulação e floculação, decantação, e filtração, com intuito de adequar o efluente tratado para uso em sistema de resfriamento e sanitários.

Fazem parte do sistema de tratamento as seguintes estruturas:

Tanque de Tratamento: Consiste em um tanque metálico de 30 m³ de capacidade que, em seu centro, possui uma hélice rotativa, cuja finalidade é a mistura rápida do efluente tratado e os produtos químicos adicionados no tratamento.

Os produtos químicos são:

1. Para desinfecção – Solução de Hipoclorito de Sódio 12%
2. Para correção de pH – Hidróxido de Cálcio
3. Para coagulação e floculação – Soluções de Sulfato de Alumínio e Polímero Catiônico solubilizado
4. Para regeneração da resina do abrandador - Cloreto de Sódio em pastilhas

Filtro de Carvão Mineral, Areia e Pedra: Tanque metálico de 10 m³ de capacidade, onde o efluente tratado é submetido à filtração, em fluxo descendente, para retirada de partículas grosseiras persistentes à floculação.

Tanque Pulmão: Tanque cilíndrico metálico, aéreo, com capacidade de 5 m³, destinado a função de "pulmão" para continuidade no processo de tratamento, que seguirá passando ainda pelos tanques de carvão ativado e o abrandador.

Filtro de Carvão Ativado: Tanque aéreo, metálico, onde a água filtrada é submetida novamente a um processo de filtração em fluxo descendente, através de carvão ativado para retirada de compostos dissolvidos.

Abrandador: Tanque aéreo, metálico, onde a água reciclada passa por uma resina catiônica, controlando a dureza da água reciclada.

Reservatório Subsolo: A água de reuso segue para um reservatório subsolo, que recebe complementação de sistemas de recirculação de vapor condensado e do retorno dos sistemas de refrigeração.

Caixa Elevada: Da caixa no subsolo, o efluente é bombeado para uma caixa de altura superior às torres de resfriamento. Desse ponto em diante, o sistema segue por gravidade até seu destino (torres de resfriamento e sanitários).

A operação é inteiramente manual, guiada por procedimentos operacionais detalhando as atividades. Nos procedimentos há orientações quanto ao monitoramento do teor de cloro, controle de pH e uso deste como referência na etapa de coagulação e floculação, além de detalhar as quantidades de utilização de produtos químicos por etapa e orientar a retrolavagem dos filtros e regeneração da resina do abrandador.

Na prática, o tratamento vem sendo realizado respeitando as etapas, mas sem referencial teórico além das etapas estabelecidas em procedimentos operacionais. Não há instrumentos de medição e análise adequados (há apenas um pHmetro, sem calibração regular, instalado em linha, na saída do Tanque de Tratamento e um kit de análise colorimétrica de cloro). Não há equipe operacional dedicada, pois os operadores dividem-se entre outras unidades produtoras de utilidades.

O fluxograma apresentado na Figura 5 detalha visualmente o processo da EPAR.

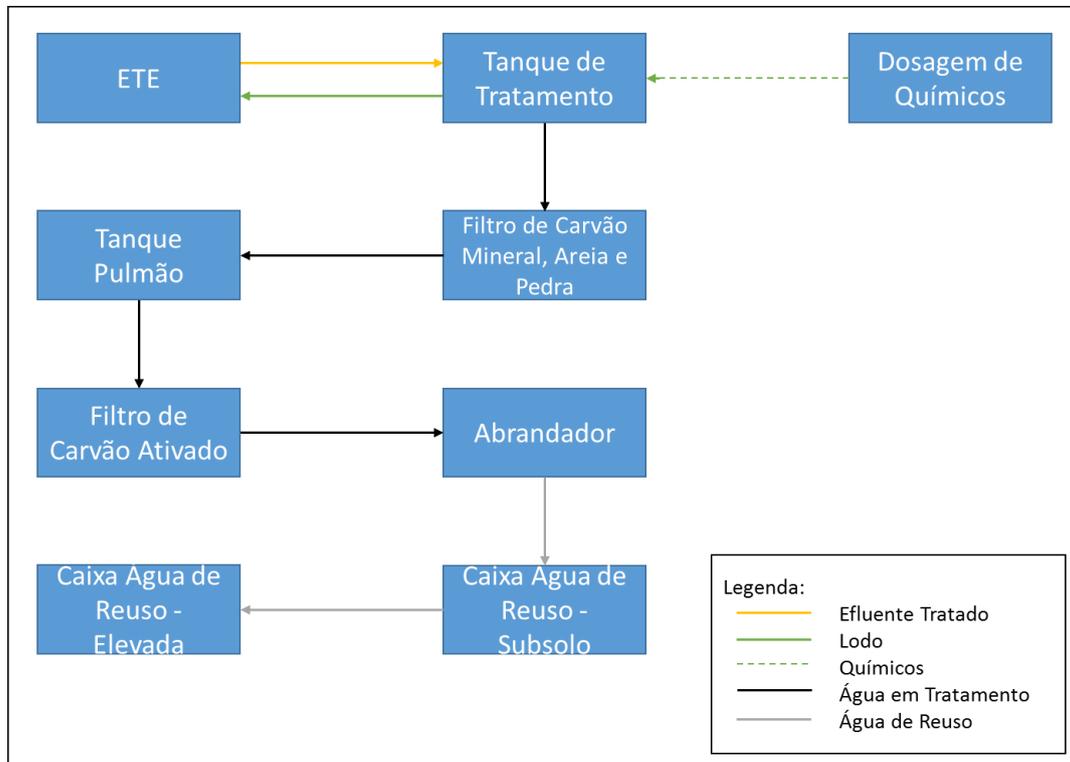
4.1.4 Aplicação da Água de Reuso

Conforme já mencionado, a água de reuso é utilizada no abastecimento de bacias sanitárias e mictórios, e no sistema de resfriamento. Da caixa elevada, a água de reuso segue diretamente para esses sistemas.

Não há tratamento posterior para a água destinada à sanitários e mictórios. No entanto, a água de torre de resfriamento recebe a aplicação de

produtos inibidores de corrosão e incrustação, além de receber adição de cloro na entrada de cada torre, realizado por meio de pastilhas.

Figura 5 – Fluxo do Processo EPAR



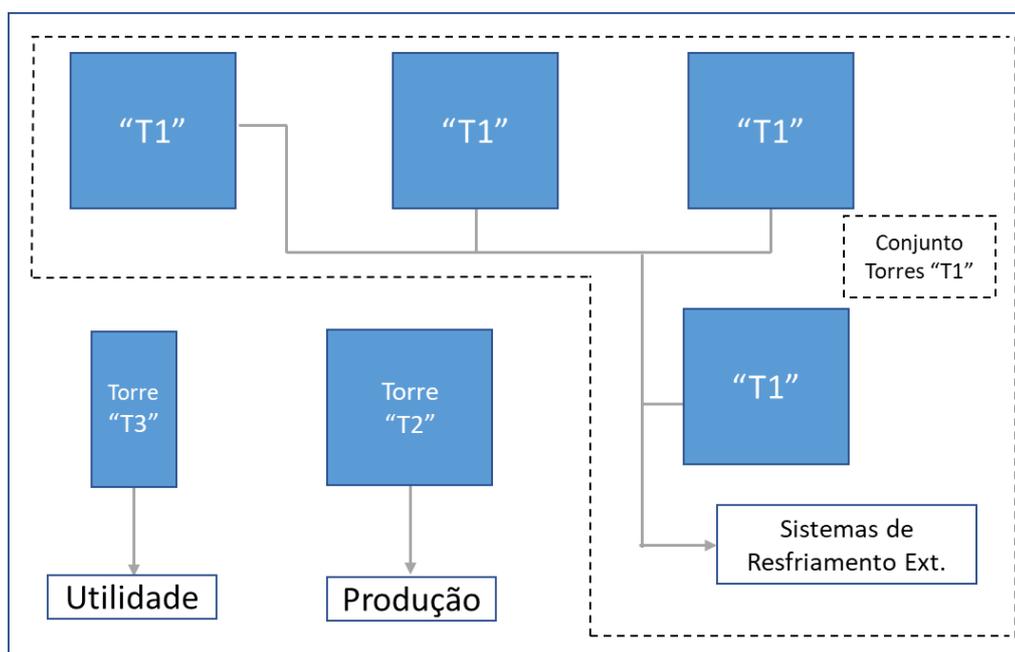
A opção pelo reuso é parte integral dos processos de resfriamento, que consomem diretamente a maioria do volume de reuso nas torres e, indiretamente, impulsionam o reuso através da recirculação entre os processos externos que são compostos por *chillers*, condensadores e trocadores de calor e internos ao processo produtivo pelas camisas de tubulação, reservatórios e colunas de destilação. Devido a essa característica, a demanda por água de reuso pode variar conforme a época do ano, sendo maior nos meses mais quentes e sofrendo queda nos meses mais frios. Todo sistema de reuso pode ser complementado com, ou alternado para, uso de água potável. Todavia, devido ao fluxo percorrido e às diferentes aplicações da água de reuso, a economia direta e indireta gerada pelo reuso é superior aos 44% registrados.

O sistema de torres conta ainda com operações automáticas pré-programadas de drenagem, com intuito de evitar a concentração de contaminantes presentes na água reciclada, potencializados pelo uso em um sistema onde a renovação de água ocorre, majoritariamente, por evaporação.

O fluxograma apresentado na Figura 6, detalha o layout básico das torres. As Torres de Resfriamento são divididas em 3 grupos:

- Conjunto de Torres “T1”: Responsáveis pela troca de calor com os sistemas de Resfriamento Externo e Interno.
- Torre “T2”: Troca de calor com uma etapa produtiva particular.
- Torre “T3”: Troca de calor para produção de água de utilidade particular.

Figura 6 – Layout das Torres de Resfriamento



No passado, a utilização de água de reuso também se estendia ao uso em caldeiras para produção de vapor industrial. Esta prática foi abandonada em detrimento do uso de água potável, que oferece maior segurança ao processo. No entanto, a utilização de água potável não elimina a necessidade de tratamento específico para uso em caldeiras. Ou seja, a água potável da concessionária ainda tem de passar por filtragem e abrandamento específico para ter seus parâmetros adequados às especificações da caldeira.

4.2 Levantamento de dados

Os sistemas de Tratamento de Efluentes e Tratamento de Água de Reuso estão sob responsabilidade do setor de Utilidades da empresa em estudo. Há

um registro diário realizado e mantido pela operação do setor, referente consumo de água potável e não-potável. Há, também, registro do descarte de efluentes, ou seja, do volume tratado na ETE que não se converteu em água de reuso. Com base nessas informações, foi possível esboçar o balanço hídrico da empresa, reunindo as informações em planilhas de cálculo e fazendo os cálculos nas próprias células (que não eram feitos, até o início deste estudo). O compilado baseado nas médias mensais pode ser conferido na Tabela 10.

Tabela 10 – Uso da Água na Área em Estudo

Tipo de Água	Aplicação	m³/mês	% em relação ao Tipo	% em relação ao Total
Potável	Produção	1387,9	61,0%	41%
	Caldeiras	398,6	17,5%	12%
	Consumo Doméstico*	488,6	21,5%	15%
Reuso	Resfriamento	997,7	92,2%	30%
	Sanitários	84	7,8%	3%
Total	Potável + Reuso	3356,8	-	100,0%
Descarte ETE	Efluente não convertido em reuso	1193,4	-	-

*Consumo humano, uso em banheiro, restaurante, rega de áreas verdes, limpeza, etc.

Quanto ao monitoramento de parâmetros de seus efluentes e água de reuso, a empresa o faz em três frentes:

- **Monitoramento Mensal do Efluente Tratado:** para cumprimento de requisitos legais, conduzido pelo setor de Meio Ambiente da empresa;
- **Monitoramento Trimestral da Água de Reuso:** como boa prática adotada pelo setor de Meio Ambiente da empresa;
- **Autocontrole Mensal da Água de Reuso:** para monitoramento dos parâmetros relevantes à operação do sistema de resfriamento e torres de resfriamento, conforme determinado, conduzido, e executado pela empresa prestadora de serviço de manutenção e fornecimento de produtos químicos para esta finalidade.

No início do trabalho, os dados não eram de fácil e pronto-acesso. A gestão de nenhum desses parâmetros era realizada ativamente por nenhum funcionário da empresa. Isso mudou no decorrer deste trabalho, com todos os dados agora organizados e mantidos atualizados em planilhas de cálculo, que são atualizadas pelo setor de Utilidades da empresa. No entanto, ainda foi preciso filtrar e selecionar os dados a serem utilizados com base nos requisitos legais, normativos e técnicos aplicáveis que, com exceção aos do Efluente Tratado, também não eram claros ao setor responsável, até o início deste estudo.

A base de dados, devidamente compilada e organizada, encontra-se no Apêndice A. Foram reunidas 24 amostragens de Efluente Tratado, referentes ao período de 2017 a 2019. Da Água de Reuso, foram reunidas 10 amostragens referentes ao Monitoramento Trimestral, período de 2017 a 2019, e 25 amostragens realizadas pelo Autocontrole Mensal, referente ao período de 2017 a 2019. Das torres, foram reunidas 25 amostragens de cada Torre, porém, o laudo “14” continha dados apenas da Torre T1. Por este motivo, a Torre T2 e T3 possuem 24 amostras.

4.2.1 Requisitos Aplicáveis

Com base no histórico de resultados analíticos disponibilizados pela empresa, foram levantadas as normas e leis aplicáveis a cada tipo de amostra (Efluente Tratado, Água de Reuso ou Potável).

4.2.1.1 Monitoramento Efluente Tratado

- Decreto Estadual Nº 8.468/1976
- Resolução CONAMA nº 357/2005, alterada e ampliada pela Resolução CONAMA nº 430/ 2011.

4.2.1.2 Monitoramento da Água de Reuso

- **Legislação Aplicável:**
 - Resolução Municipal nº 09/2014.
 - Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01/2017.

- **Referências Técnicas:**

- **Guidelines for Water Reuse EPA – 1992:** Este documento, produzido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, traz a primeira versão de parâmetros recomendados para uso de água de reuso em sistemas de resfriamento, sendo replicados os mesmos valores nas *Guidelines* de 2004 e, sua versão mais recente, a de 2012.
- **NBR 13969/1997 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação:** tem por objetivo oferecer alternativas de procedimentos técnicos para o projeto, construção e operação de unidades de tratamento de esgotos. A divisão em função de classes, usos e parâmetros de qualidade já foi detalhada na Tabela 1 (p. 19).
- **Padrões da prestadora de serviço contratada:** a empresa responsável pela manutenção e fornecimento de produtos químicos ao sistema de águas de resfriamento utiliza seus próprios valores de auto-controle analítico como referência e serão considerados neste estudo.

- **Padrões de Água Potável:**

A água potável vem sendo empregada em caldeiras para produção de vapor industrial, após passar por tratamento específico. No passado, utilizava-se a água de reuso, porém, por oferecer um padrão mais confiável e menores riscos ao processo das caldeiras, hoje se faz a opção pela água potável. Logo, na hipótese de que o sistema de produção de água de reuso venha a ser capaz de atingir os mesmos valores preconizados nos padrões de potabilidade, a possibilidade de utilizar água de reuso nesses processos poderia voltar a ser considerada. Para orientar os parâmetros referentes à água potável, será utilizada a **Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, Anexo XX**, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

4.2.2 Parâmetros e valores de Referência

Cruzando as informações disponibilizadas pela empresa com as referências levantadas, os parâmetros de interesse ao trabalho foram selecionados e relacionados conforme as Tabelas 11 e 12. Somente os parâmetros para os quais a empresa possui histórico serão considerados, omitindo os parâmetros listados nas referências levantadas para os quais a empresa não possui histórico de monitoramento.

Tabela 11 – Valores de Referência para Efluentes utilizados na ETE/EPAR estudada

Referência (Legislação)	Padrões de Lançamento de Efluente	pH	DBO	Eficiência em Remoção DBO	Sólidos Sedimentáveis
		-	mg/L	%	ml/L/h
Decreto 8468	Artigo 18	5,0 a 9,0	< 60,0	> 80,0	≤ 1,0
Conama 430	Seção II	5,0 a 9,0	-	> 60,0	≤ 1,0

4.3 Procedimentos para Análise e Discussão dos Resultados

Munido dos resultados devidamente compilados e organizados, as análises foram feitas conforme os seguintes passos:

- Caracterização do Efluente Tratado, em relação ao atendimento dos parâmetros do monitoramento atual.
- Caracterização da Água de Reuso utilizando análise de frequência de adequação aos parâmetros em diferentes cenários de uso, identificando pontos de melhoria em relação ao uso atual e o que precisa ser adequado visando a ampliação do uso. Os cenários considerados foram:
 - Atendimento de parâmetros ao uso atual (Torres de Resfriamento e uso em sanitários), de acordo com as referências técnicas levantadas e os parâmetros considerados pela prestadora de serviço responsável pelo controle da qualidade da água de reuso;
 - Atendimento de parâmetros para classes II e B de reuso urbano, de acordo com as referências legais levantadas;
 - Atendimento de parâmetros de potabilidade, com intuito de avaliar a aplicação da água de reuso em caldeiras.

Tabela 12 – Valores de Referência Água de Reuso utilizados na ETE/EPAR estudada

Referência	Tipo de Reuso	pH	Alcalinidade	Boro*	Cloretos	Cloro Residual Livre / Cloro	Coliformes Termotolerantes	Condutividade	Dureza Total	Ferro Total	Silica Total	Sólidos Totais Dissolvidos	Turbidez
		-	mg/L CaCO ₃	mg/L	mg/L	mg/L	UFC/100mL	us/cm	mg/L CaCO ₃	mg/L	mg/L	mg/L	NTU
Resolução Municipal nº 09/2014	Classe A	-	-	-	< 250,0	≥ 1,0	-	-	-	-	-	-	≤ 1,0
	Classe B	-	-	-	< 250,0	≤ 2,0	-	-	-	-	-	-	≤ 5,0
Resolução conjunta SES/SMA/SSR H Nº 01 /2017	Classe I	6,0 a 9,0	-	< 0,7	<106,0	-	Ausência/100 ml	< 700,0	-	-	-	< 450,0	≤ 2,0
	Classe II	6,0 a 9,0	-	< 3,0	<350,0	-	<200	< 3000,0	-	-	-	< 2.000,0	-
Guidelines for Water Reuse - EPA	Industrial - Refrigeração e Torres de Resfriamento (1992)	6,9 a 9,0	≤ 350,0	-	≤ 500,0	-	-	-	≤ 650,0	≤ 0,5	≤ 50,0	≤ 500,0	≤ 50,0
NBR 13969/1997	Classe I (contato direto)	6,0 a 8,0	-	-	-	0,5 a 1,5	< 200,0	-	-	-	-	< 200,0	< 5,0
	Classe II (sem contato direto)	-	-	-	-	> 0,5	< 500,0	-	-	-	-	-	< 5,0
	Classe III (descarga de bacias sanitárias)	-	-	-	-	-	< 500,0	-	-	-	-	-	< 10
Auto Controle Adotado (empresa contratada)	Industrial - Torres de Resfriamento	6,0 a 9,0	≤ 700,0	-	-	-	-	< 3500,0	≤ 700,0	≤ 1,0	≤ 150,0	< 2.600,0	-
Portaria de Consolidação nº 5 do MS - Capítulo V, Anexos 1, 7 e 10 do Anexo XX	Nenhum - Apenas Comparativo	6,0 a 9,0	-	-	< 250,0	0,5 a 2,0	Ausência/100 ml	-	< 500,0	≤ 0,3	-	< 1.000,0	< 5,0

- Análise de correlação do efluente tratado com a água de reuso, com intuito de avaliar se alguma melhoria na água de reuso pode ser obtida através de intervenção no tratamento secundário.
- Avaliação dos resultados das águas das torres, em relação aos resultados da água de reuso. Uma vez que toda água de Torre é água de reuso, é esperado que os valores sejam equivalentes, a menos que a operação e manutenção de torres não esteja adequada. Estatística descritiva, bem como o teste não paramétrico de hipótese nula de Wilcoxon Mann-Whitney, foram utilizados para essa avaliação.
- Com base em todas as informações reunidas nas etapas anteriores, foram definidas as ações para melhoria de pontos críticos atuais e o que precisa ser feito para almejar a ampliação do uso de água de reuso em detrimento da água potável.
- Proposição de melhorias no monitoramento e nas rotinas que precisam ser mantidas para garantir o atendimento aos requisitos desejados.
- Discussão sobre possível retorno financeiro da melhoria da água de reuso.

Toda a análise estatística foi realizada com o auxílio do programa Action Stat®, versão 3.7, em período de avaliação.

5 Resultados e Discussão

5.1 Caracterização do Efluente Tratado

O Efluente Tratado não apresenta problemas em relação ao atendimento dos parâmetros legais, com base no histórico disponibilizado (Tabela 13). Considerando os últimos 12 resultados, 1 de DBO, 3 de Eficiência em Remoção de DBO, e 1 de Sólidos Sedimentáveis foram registrados fora das exigências legais. No entanto, isso mostra que o histórico recente é de melhoria e evolução no atendimento aos padrões legais, refletindo uma boa qualidade de tratamento.

No entanto, o estudo teve acesso ao histórico de valores de DQO, pois este parâmetro também é monitorado. Foi identificada uma grande variância, além de uma eficiência de remoção média abaixo de 80%. Embora não seja um parâmetro de especificação, essa informação pode ser um item de atenção. Enquanto o tratamento biológico é satisfatório para receber e atender a demanda em DBO, uma demanda de difícil biodegradabilidade pode estar compondo a corrente de efluente.

Tabela 13 – Estatística descritiva das características do efluente tratado.

Parâmetro	pH	DBO	Eficiência em Remoção DBO	DQO	Eficiência em Remoção DQO	Sólidos Sedimentáveis
Unidade	-	mgO ₂ /L	%	mgO ₂ /L	%	ml/L/h
Controle	5,0 a 9,0	60,0	80%	-	-	1,0
<i>Média</i>	7,00	47,83	83%	174,27	74%	0,15
<i>Mediana</i>	7,06	31,30	0,89	151,00	0,76	0,10
<i>Desvio padrão</i>	0,436	50,525	0,176	126,967	0,183	0,390
<i>Variância da amostra</i>	0,190	2552,803	0,031	16120,681	0,033	0,152
<i>Curtose</i>	-0,625	1,275	2,704	1,965	0,316	23,697
<i>Assimetria</i>	-0,398	1,400	-1,697	1,388	-0,844	4,812
<i>Mínimo</i>	6,23	3,10	0,34	18,09	0,30	0,00
<i>Máximo</i>	7,82	182,20	0,99	518,80	0,99	2,00

Uma vez que o efluente tratado encontra-se dentro dos limites legais, não há necessidade imediata de melhorias. No entanto, em vista da baixa eficiência em remoção de DQO, uma reavaliação do processo de geração de efluentes, com uma caracterização da biodegradabilidade do efluente bruto é

recomendada. Conforme Braile e Cavalcanti (1979 *apud* von Sperling, 2007), se a relação DQO/DBO for superior à 2,0, estudos de tratabilidade precisam ser realizados para verificar a viabilidade do tratamento biológico. Valores maiores que 3,5 indicam alta fração não-biodegradável e necessidade de tratamento físico-químico.

5.2 Caracterização da Água de Reuso

5.2.1 1º Cenário

Em relação ao 1º cenário, percebe-se que não há muita dificuldade em atender os limites considerados pela empresa que presta serviço de monitoramento e manutenção das torres. O uso em sanitários previsto pela NBR 13969/1997 também é atendido, uma vez que o histórico de turbidez das análises não apresenta nenhum resultado superior a 10 NTU, menos ainda resultados superiores a 50 NTU, conforme o padrão USEPA 1992.

O que precisa ser melhorado na água de reuso é a desinfecção. Há cloração nas torres, mantida pela empresa prestadora de serviço. Mas para a água que vai para sanitários, os valores de Cloro Residual apresentaram apenas 1 valor dentro dos limites. Essa deficiência está diretamente ligada à presença de Coliformes Totais, que possui um histórico de inadequação de 56%.

A proposta mais adequada para resolução deste problema seria a adesão ao monitoramento conforme a frequência definida na nas Tabelas 3 e 4 (p. 21 e 22), com base nas legislações estadual e municipal consultadas. O hipoclorito de sódio já é aplicado ao sistema, porém, em quantidade aparentemente insuficiente. Se o monitoramento e o ajuste da dosagem não adequarem os padrões, alternativas mais sofisticadas de tratamento terciário com foco em desinfecção, conforme a Tabela 9 (p. 31) devem ser estudadas.

Há uma grande variância dos valores de Alcalinidade, Cloretos, Condutividade, Sólidos Totais Dissolvidos e Dureza (Tabela 14). Esta variância de valores dentro da especificação sinaliza a necessidade de padronizar a operação e as atividades. Quanto a isso, deve-se revisar os procedimentos, treinar a operação, e levantar e adquirir, os instrumentos de auto-controle necessários para prática do auto-controle do processo de tratamento.

Tabela 14 – Estatística descritiva das caracterização Água de Reuso

Parâmetro	pH	Alcalinidade e Total	Cloretos	Condutivid.	S.T.D.	DurezaTotal	Ferro Total	Silica Total	Boro	Cloro Residual	Turbidez
Unidade	-	ppm CaCO3	ppm Cl	us/cm	ppm	ppm CaCO3	ppm Fe	ppm SiO2	mg/L	mg/L	NTU
*Referência - 1º Cenário	6,0 a 9,0	700,0	500,0	3500,0	2600,0	700,0	1,0	150,0	5,0	0,5 a 1,5	50,0
*Referência - 2º Cenário	6,0 a 9,0	350,0	350,0	3000,0	2000,0	650,0	0,5	50,0	3,0	0,5 a 2,0	10,0
*Referência - 3º Cenário	6,0 a 9,0	350,0	250,0	700,0	1000,0	500,0	0,3	50,0	0,7	0,5 a 2,0	5,0
Média	6,86	96,20	320,35	1.463,44	1.097,58	137,04	0,39	19,68	0,74	0,17	1,63
Mediana	6,90	90,00	305,30	1.355,00	1.016,25	186,00	0,32	20,00	0,50	0,09	1,50
Desvio padrão	0,31	38,39	90,10	390,26	292,69	101,00	0,28	10,95	0,66	0,23	1,15
Variância da amostra	0,10	1.473,50	8.118,40	152.301,01	85.669,32	10.201,71	0,08	119,98	0,44	0,05	1,32
Curtose	3,29	-0,83	2,50	6,60	6,60	-1,59	1,67	0,21	0,99	1,11	-2,13
Assimetria	0,76	0,44	1,25	2,05	2,05	-0,21	1,44	0,04	1,32	1,31	0,22
Mínimo	6,20	45,00	195,25	849,00	636,75	0,00	0,05	1,00	0,20	0,00	0,40
Máximo	7,80	165,00	599,95	2.880,00	2.160,00	294,00	1,11	42,00	1,98	0,67	3,10

*Conforme a Tabela 12 (p. 46).

5.2.2 2º Cenário

Em suma, é seguro afirmar que, considerando os parâmetros mais restritivos de uso em torres, definido pela EPA, bem como o Uso com Restrição Severa, estabelecido pela Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01/2017, a água de reuso tem potencial para atender plenamente os requisitos definidos por estes instrumentos, desde que faça melhorias em sua desinfecção e monitoramento de Cloro Residual.

Além da ressalva a respeito da desinfecção, a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01/2017 também exige, para uso Urbano com Restrição Severa, a necessidade de ampliar o escopo de análises para incluir DBO, Sólidos Suspensos Totais, Ovos helmintos, Cloro Total e fator RAS (caso seja optado o uso em irrigação paisagística). Uma vez em conformidade com mais esses parâmetros, a água de reuso pode ser utilizada, de acordo com a referida lei, em seu Art. 3º, em:

- 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;

5.2.3 3º Cenário

O 3º cenário utiliza as referências de potabilidade mais restritivas, aplicáveis à água potável, com objetivo de indicar o que seria necessário adequar na água de reuso, para que se pudesse discutir a ampliação de seu uso em aplicações industriais que, atualmente, se utilizam de água potável e, também, ao uso de menor restrição, considerado pela Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01/2017 e Resolução Municipal nº 09/2014 - Campinas/SP.

A água de reuso não atende os parâmetros Cloretos, Condutividade, Sólidos Totais Dissolvidos, Ferro Total, Boro e Cloro Residual. No entanto, o atendimento de todos não está tão distante, sugerindo que mudanças pequenas poderiam surtir grandes melhorias. O fato dos demais parâmetros se adequarem ao uso potável é considerado acima da expectativa, mesmo que ainda existam parâmetros fora das especificações. Isso indica que o sistema atual, com todas as suas falhas e oportunidades, tem qualidade suficiente em seus processos de

clarificação, filtração e abrandamento para produzir uma água de reuso de boa qualidade.

Complementando os comentários anteriores, propõe-se:

- A adoção das propostas já mencionadas referentes à desinfecção, para dosagem e monitoramento de hipoclorito de sódio.
- Com base nos estudos atuais, agregados à revisão bibliográfica (Cristóvão *et al.* (2015), George *et al.* (2015), Sumisha *et al.* (2015), Colla *et al.* (2016), Ghaneian *et al.* (2017), e Xu *et al.* (2019)), o emprego da combinação de sistemas de ultrafiltração e osmose reversa, em nível terciário, dada sua eficiência em reduzir os valores das variáveis que ainda se apresentam fora da especificação do 3º cenário.
- Com base nos estudos referentes à tecnologia MBR, agregados à revisão bibliográfica (Andrade *et al.* (2015), Jemli *et al.* (2015), Mannina *et al.* (2016), e Jamshidi e Niksokhan (2017)), esta alternativa, em nível secundário, pode reduzir os valores das variáveis que ainda se apresentam fora da especificação do 3º cenário.

Qualquer proposta que venha a ser considerada deve levar em conta as características atuais do sistema de tratamento e suas limitações, bem como as limitações das próprias alternativas, descritas nos estudos mencionados. As alternativas propostas neste cenário envolvem alterações na vazão do sistema, que devem ser consideradas. Além do custo de implantação, novas demandas de energia, insumos e manutenção seriam gerados. No entanto, o resultado pode ser financeiramente viável, se a economia gerada pela ampliação do reuso for suficientemente elevada.

Analisando os usos atuais de água potável e água de reuso, a possibilidade de retomada do uso de água reciclada na produção de vapor é plausível. Considerando que o preço praticado da água é de R\$ 35,10/m³ de água potável, e o volume médio mensal de água para produção de vapor é de aproximadamente 400 m³/mês, há a possibilidade de evitar o gasto mensal de R\$ 14.040,00, ou R\$ 168.480,00 ao ano. Com o aumento da demanda por água de reuso, é esperada a redução, na mesma taxa, do descarte para via de esgotamento público. Atualmente, o valor cobrado pelo descarte é de R\$

28,07/m³. Com mais 400 m³/mês de efluente sendo reaproveitado, R\$ 11.228,00 por mês, ou R\$ 134.736,00 por ano deixariam de ser gastos com descarte. Ou seja, apesar da necessidade de um investimento ser necessário para alcançar os parâmetros do 3º cenário, há uma economia anual de R\$ 303.216,00 em vista, que pode ser usada para justificar o investimento.

5.3 Correlação do Efluente Tratado x Água de Reuso

Com intuito de avaliar se, com os dados disponíveis, era possível estabelecer alguma relação significativa entre a qualidade do efluente tratado e a qualidade da água de reuso, foram pareadas amostragens que ocorreram no mesmo intervalo de tempo e foi realizada a correlação estatística com auxílio do programa Action Stat®.

O resultado da correlação entre os parâmetros das características do efluente tratado e água de reuso é apresentado na Tabela 15. Isolando a correlação entre as variáveis do efluente tratado e as variáveis da água de reuso, temos o seguinte cenário. Em geral, são poucas as correlações encontradas entre as variáveis do Efluente Tratado e Água de Reuso. A maioria é fraca, podendo ser descartadas como coincidência estatística. No entanto, dois fenômenos merecem explicações.

Tabela 15 – Correlação Efluente X Água de Reuso

		Efluente Tratado				
		<i>pH</i>	<i>DBO</i>	<i>Eficiencia DBO</i>	<i>DQO</i>	<i>Eficiencia DQO</i>
Água de Reuso	<i>pH</i>	-0,28	-0,36	0,03	-0,04	0,18
	<i>Alcalinidade Total</i>	-0,34	-0,04	0,28	0,60	-0,01
	<i>Cloretos</i>	-0,23	-0,66	0,66	0,35	0,35
	<i>Condutividade</i>	-0,26	0,00	0,27	0,66	-0,18
	<i>Sólidos Totais Dissolvidos</i>	-0,26	0,00	0,27	0,66	-0,18
	<i>Dureza Total</i>	0,13	0,50	0,00	0,11	-0,08
	<i>Ferro Total</i>	0,06	-0,27	0,44	-0,09	0,15
	<i>Silica Total</i>	-0,51	0,01	0,24	0,64	0,02

*Destques em negrito representam significância estatística

Há aparente correlação entre DQO x Condutividade e DQO x Sólidos Totais Dissolvidos. No entanto, serão tratadas como coincidência estatística. O motivo encontra-se na relação entre DQO e Eficiência em Remoção de DQO. Quanto maior a DQO, menor deve ser a Eficiência. Logo, a correlação com a DQO, para ser considerada relevante, deveria ser acompanhada de uma relação negativa com a Eficiência em remoção de DQO, que não ocorre.

Correlações com maior nível de significância foram encontradas entre Cloretos x DBO (negativa) e Cloretos x Eficiência em Remoção de DBO (positiva). Primeiro, deve-se observar que a DBO e a Eficiência em Remoção de DBO devem ser negativamente correlacionadas (quanto menor a DBO residual do efluente tratado, maior a eficiência). Logo, o teor de cloretos na água de reuso se relaciona com ambos da mesma forma, apesar da “inversão de sinal”, validando a relevância estatística da correlação. A boa eficiência na ETE associada à elevação do teor de Cloretos na Água de Reuso pode ser explicada pela capacidade de adaptação do meio biológico.

Conforme von Sperling (2007), as bactérias da etapa biológica de efluente se aclimatam conforme as condições do efluente. E, conforme Jemli *et al.* (2015) e Mannina *et al.* (2016), evidenciamos que existem bactérias em sistemas biológicos de tratamento secundário adaptadas à elevados teores de cloretos e outros tipos de sais. Logo, pode-se levantar a hipótese que o meio biológico está melhor adaptado ao elevado teor de cloretos na corrente de efluentes, condicionando seu desempenho na remoção de carga poluidora a este fator.

Isso indica que a contribuição de cloretos na água de reuso pode ser reduzida por meio de ações na fonte, ou seja, investigando e atuando nas atividades que contribuem com cloretos nas correntes de alimentação da ETE. Porém, isso também indica que qualquer redução na concentração de cloretos pode ter efeito negativo sobre a etapa biológica de tratamento.

À luz deste fato, propõe-se que ações para adequação dos valores de cloretos na geração de efluentes, devem estar acompanhadas de ações de monitoramento e mitigação dos impactos na etapa biológica de tratamento de efluentes. Outra alternativa é o emprego da já mencionada tecnologia MBR, posterior à etapa biológica de tratamento.

5.4 Avaliação das Águas de Torres

5.4.1 Comparação de valores médios e variância

Comparando o histórico dos resultados de água de reuso e torres, considerando os parâmetros monitorados pela empresa contratada, foi testada a hipótese da igualdade entre as águas de torres e águas de reuso. As médias e variâncias dos parâmetros são apresentados nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16 – Tabela Médias Água de Reuso e Torres

Parâmetros	Reuso	T1	T2	T3
pH	6,86	8,52	8,31	7,57
Alcalinidade Total	96,20	842,40	455,63	120,42
Cloretos	320,35	16088,74	697,58	480,75
Condutivid.	1463,44	49680,12	3093,46	2172,54
S.T.D.	1097,58	37260,09	2320,09	1629,41
DurezaTotal	137,04	3707,20	215,42	175,50
Ferro Total	0,39	0,48	1,86	0,59
Silica Total	19,68	177,16	33,29	23,17

Tabela 17 – Tabela Variância Água de Reuso e Torres

Parâmetros	Reuso	T1	T2	T3
pH	0,10	0,04	0,94	0,18
Alcalinidade Total	1473,50	143979,42	158498,51	2830,25
Cloretos	8118,40	92263625,55	287530,97	121925,32
Condutivid.	152301,01	973628018,69	4754431,22	1889031,48
S.T.D.	85669,32	547665760,52	2674367,56	1062580,21
DurezaTotal	10201,71	6460078,67	7448,86	6981,65
Ferro Total	0,08	0,61	1,07	0,25
Silica Total	119,98	5500,97	171,87	99,88

Conforme o teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney, a uma significância de 95%, as medianas demarcadas indicam que as amostras foram obtidas de populações que possuem a mesma distribuição (Tabela 18). Ou seja, as medianas são consideradas estatisticamente iguais.

Tabela 18 – Tabela Medianas Água de Reuso e Torres

Parâmetros	Reuso	T1	T2	T3
pH	6,9	8,5	8,55	7,6
Alcalinidade Total	90 ^a	825	367,5	115 ^a
Cloretos	305,3 ^b	15975	598,18 ^b	383,4 ^b
Condutivid.	1355	49920	3215	1756,5
S.T.D.	1016,25	37440	2411,25	1317,38
Dureza Total	186 ^c	3400	210 ^c	206 ^c
Ferro Total	0,32 ^d	0,18 ^d	2,27	0,37 ^d
Silica Total	20 ^e	184	34,5 ^e	25,5 ^e

Letras iguais significam semelhança estatística entre as variâncias

A condutividade e STD não são equivalentes em nenhuma das situações, sugerindo que cada torre tem sua própria taxa de concentração de sólidos dissolvidos, assim como cada torre possui dimensões e aplicações diferentes.

A alcalinidade, cloretos, dureza e sílica da Torre T1 é bem superior aos outros locais (Reuso, T2 e T3). Os parâmetros destoantes da Torre 1 podem ser justificados pelo seu maior volume, maior dimensão e maior complexidade (são 4 torres, ligadas aos sistemas de resfriamento da fábrica). A taxa de evaporação e troca hidráulica ocorre em taxas que favorecem a concentração de contaminantes numa proporção maior do que nas demais torres. Além de buscar a melhoria no padrão de água de reuso, os processos de drenagem e dosagens de químicos específicos devem ser reavaliados junto à empresa prestadora.

O ferro total é bem diferente na T2, nas outras três são equivalentes. O fato de isso ocorrer somente na T2, sem relação com o valor da água de reuso, sugere perda de ferro exclusiva no sistema da T2, caracterizando a possibilidade de ocorrência de processo oxidativo localizado.

A água de reuso tem valores menores em todos os parâmetros, confirmando o efeito cumulativo de contaminantes nos sistemas das torres.

Para o caso deste estudo, no qual sabe-se que a água de reuso alimenta as torres, isso indica que a distribuição das torres deve acompanhar variações na distribuição da água de reuso. Onde isso pode ser observado, conforme demarcado, podemos concluir melhorias nos parâmetros da água de reuso irão refletir nos parâmetros das torres. Onde não é observado, como a totalidade dos parâmetros do Conjunto de Torres T1, indica que não bastam apenas melhorias

na água de reuso, sendo necessário investigação e ações direcionadas neste ponto específico para objetivar a melhoria de parâmetros.

A proposta para este item é o alinhamento dessas informações junto à empresa responsável pela manutenção e dosagem de produtos químicos. Fica evidenciado que procedimentos operacionais, dosagens e o ciclo de drenagem das torres precisam ser revistos, uma vez que a melhoria da água de reuso tem um alcance limitado a Alcalinidade, Cloretos, Dureza e Sílica, somente nas Torres T2 e T3.

6 Conclusão

Em face a necessidade de uma gestão mais racional dos recursos hídricos, é papel de cada consumidor buscar o que pode ser feito para evitar perdas e promover seu reuso. Atividades que necessitam de grandes volumes e elevados teores de qualidade, como o caso das indústrias farmacêuticas, não são exceção.

Apesar desta justificativa nobre, esta gestão mais racional precisa fazer sentido no contexto em que será promovida. Portanto, se faz necessário ter clareza e objetividade quanto ao uso pretendido da água, além de domínio sobre seus processos, fluxos e sistemas de tratamento e promoção de reuso. Foi neste sentido que o presente estudo atuou e, além de atingir seus objetivos, obteve as seguintes conclusões:

- A empresa possui um tratamento de efluentes eficiente e adequado à produção de água de reuso para as aplicações atuais.
- A água de reuso é de qualidade adequada ao uso pretendido, porém, necessita de melhorias imediatas em seu processo de desinfecção. A princípio, não recomenda-se a aplicação de uma nova técnica, uma vez que não existe um procedimento e prática estabelecidas para controle da concentração de cloro livre residual na água de reuso. O que se sugere é a aderência ao plano de monitoramento conforme preconizado na Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01/2017 e Resolução Municipal nº 09/2014 - Campinas/SP, prevendo, ao mínimo, análises diárias de teor de cloro livre.
- Apesar da boa qualidade do efluente tratado e água de reuso, a empresa se beneficiaria de uma revisão em seu processo de geração de efluentes, em vista dos elevados teores de DQO e baixa eficiência de remoção em DQO presentes no efluente tratado.
- Reduções na concentração de cloreto, objetivando a melhoria deste parâmetro na água de reuso, devem ser feitas com cautela, visto que há uma relação benéfica entre cloretos e eficiência em remoção de DBO ocorrendo no sistema biológico.
- Com adequações mínimas e monitoramento regular dos parâmetros previstos na Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01/2017 e

Resolução Municipal nº 09/2014 - Campinas/SP, a empresa poderia ampliar o uso da água de reuso para irrigação de áreas verdes e limpeza de áreas externas à fábrica.

- Com investimento em tecnologia de reatores MBR, em nível secundário, ou ultrafiltração e osmose reversa, em nível terciário, a água de reuso atingiria padrões comparáveis aos de potabilidade, viabilizando seu uso na produção de vapor em caldeiras, gerando uma economia potencial da ordem de R\$ 300.000,00/ano.
- A melhoria dos parâmetros da água de reuso implicaria na melhoria dos parâmetros das Torres 2 e 3, no entanto e, em especial, para o Conjunto de Torres T1, é necessário uma revisão dos procedimentos operacionais de drenagem e dosagem de químicos, uma vez que os teores dos parâmetros avaliados nessas amostragens de água encontram-se muito superiores em relação à sua fonte.

Para estudos futuros, recomenda-se:

- Um maior aprofundamento em etapas específicas do tratamento, possibilitando uma revisão bibliográfica mais direcionada e resultados mais objetivos.
- Um melhor detalhamento sobre os usos domésticos, para explorar maiores possibilidades de ampliação do reuso.
- Estudar a possibilidade do reuso em cascata, fazendo emprego do reuso antes do envio para tratamento.
- Avaliar a eficácia das melhorias sugeridas, caso elas venham a ser implantadas.

Referências

ABDEL-SHAFY, H., MANSOUR, M. Treatment of Pharmaceutical Industrial Wastewater via Anaerobic/Aerobic System for Unrestricted Reuse, **Indian Journal of Scientific & Industrial Research**, v. 76, p. 119-127, 2017.

ANDRADE, B. A. S.; LACERDA, P. S. B.; OLIVEIRA, J. L. M. Technical feasibility of reuse of effluent generated from reverse osmosis system in a pharmaceutical plant, **Ambi & Água**, v. 12, n. 5, 2017.

ANDRADE, L. H., MENDES, F. D. S., ESPINDOLA, J. C., AMARAL, M. C. S., Reuse of dairy wastewater treated by membrane bioreactor and nanofiltration: technical and economic feasibility. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 32, n. 3. p. 735-747, 2015.

ARAUJO, F. A., TAVARES, J. L., **Avaliação do Potencial de Reuso de Água Residuária da ETE Dom Nivaldo Monte para fins não potáveis**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969/1997 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. 1997

BAILEY, E., CASANOVA, L., SIMMONS III, O., SOBSEY, M., Tertiary treatment and dual disinfection to improve microbial quality of reclaimed water for potable and non-potable reuse: A case study of facilities in North Carolina, **Science of the Total Environment**, v. 630, p. 379-388, 2018.

BREGA, F. D., HESPANHOL, I. **Conceito de reuso da água**. In: **MANCUSO, P. C. S, SANTOS, H. F, (Editores) Reúso de água**. 1. ed. São Paulo: Manole, cap. 2, p. 21-36, 2003.

CARDOZO, R., DEMANBORO, A. C. Gestão Ambiental e Sustentabilidade na Bacia do Rio Piracicaba - Sustentabilidade Hídrica Através de Dispositivos Poupadores de Água. In: VIII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 2011, Poços de Caldas. **Anais do VIII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas**, 2011.

CNI (Confederação Nacional da Indústria), Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **O uso racional da água no setor industrial**, 2. Ed, Brasília, 2017.

COLLA, V., BRANCA, T. A., ROSITO, F. LUCCA, C., VIVAS, B. P., DELMIRO, V. M. Sustainable Reverse Osmosis application for wastewater treatment in the steel industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 130, p. 103-115. 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA (CONAMA)

RESOLUÇÃO No 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005

CRISTOVÃO, R. O., BOTELHO, C., M., MARTINS, E. J. E., LOUREIRO, J. M., BOAVENTURA, R. A. R. Fish canning industry wastewater treatment for water reuse - a case study. **Journal of Cleaner Production**, v.87, p. 603-612. 2015.

FAUSTINI, V. C., GABRIELA, C., RIBEIRO, F., REIS, V., LOZER, J. G., GORZA, N. L., & BRITO, P. B. **Estudo de caso sobre a implantação de sistema de reuso urbano não potável em estações de tratamento de esgoto**. Encontro Técnico AESABESP - 29º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente .São Paulo-SP. 2018.

FUKUSAWA, B. N.; MIERZWA, J. C. Modelo de suporte à decisão para implantação de programas de reuso não potável como ferramenta de planejamento. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 14604-14641, 2020.

GEORGE, J. S., RAMOS, A., SHIPLEY, H. J. Tanning facility wastewater treatment: Analysis of physical–chemical and reverse osmosis methods. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v.3, n.2, p. 969-976. 2015.

GHANEIAN, M., EHRAMPOUSH, M., EHSANZADEH, E., NIKOONAHAD, A., MIRI, M. Upgrading secondary wastewater plant effluent by modified coagulation and flocculation, for water reuse in irrigation, **Journal of Water Reuse and Desalination**, v. 3, n. 7, 2017.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, **DECRETO N.º 8.468**, DE 8 DE SETEMBRO DE 1976

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Decreto Nº 12.486**, de 20 outubro de 1978

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, **RESOLUÇÃO CONJUNTA SES/SMA/SSRH Nº 01** DE 28 DE JUNHO DE 2017

HREIZ, R., LATIFI, M. A., ROCHE, N. Optimal design and operation of activated sludge processes. **Chemical Engineering Journal**, v. 281, p. 900–920, 2015.

HUERTA-FONTANELA, M., GALCERAN, M.T., VENTURA, F.. Fast liquid chromatographyquadrupole-linear ion trap mass spectrometry for the analysis of pharmaceuticals and hormones in water resources. **Journal of Chromatography.**, v. 1217 n. 25. p. 4212-4222. 2010.

JAMSHIDI, S., NIKSOKHAN, M. Upgrading Wastewater Treatment Plants Based on Reuse Demand, Technical and Environmental Policies (A Case Study), **Environmental Energy and Economic Research**, v. 2, n. 1, p. 219-230, 2017.

JEMLI, M., KARRAY, F., FEKI, F., LOUKIL, S., MHIRI, N., ALOUI, F., SAYADI, S. Biological treatment of fish processing wastewater: A case study from Sfax City (Southeastern Tunisia). **Journal of Environmental Sciences**, v.30, p. 102-112. 2015.

JORDÃO, E. P., PESSOA, C. A.. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: ABES. 2014.

MANNINA, G., COSENZA, A., TRAPANI, D., CAPODICI, M. VIVIANI, G. Membrane bioreactors for treatment of saline wastewater contaminated by hydrocarbons (diesel fuel): An experimental pilot plant case study. **Chemical Engineering Journal**, v.291, p. 269-278. 2016.

MIERZWA, J. C., HESPANHOL, I. **Água na Indústria: Uso Racional e Reuso**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MIERZWA, J.C. O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria: estudo de caso da KODAC Brasileira. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – **Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de São Paulo - USP**, São Paulo, 2002.

MIKI, M. K. *et al.* Metas incertas de efluente de ETEs. **Revista DAE**, p. 37-48. São Paulo. Setembro-Dezembro. 2015. (Nota técnica).

MIKLOS, D. B., REMY, C., JEKEL, M., LINDEN, K. G., DREWES, J., HUBNER, U. Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment - A critical review. **Water Research**. v. 139, p. 118-131. 2018.

MILANESI, M.; RUNFOLAB, A.; GUERCINIA, S. Pharmaceutical industry riding the wave of sustainability: Review and opportunities for future research. **Journal of Cleaner Production**, v. 261, 121204, 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE **PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5**, DE 28 DE SETEMBRO DE 2017

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH) **RESOLUÇÃO Nº 54**, DE 28 DE NOVEMBRO DE 2005

OLIVEIRA, S. M. A. C.; von SPERLING, M. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte I – Análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, p. 347-357, 2005.

ONU (Organização das Nações Unidas). **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2020: Água e mudança climática**, ONU, 2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS, **RESOLUÇÃO CONJUNTA SVDS/SMS Nº 09/2014**, DE 04 DE AGOSTO DE 2014

ROSHAN, A.; KUMAR, M. Water end-use estimation can support the urban water crisis management: A critical review. **Journal of Environmental Management**, v. 268, 110663, 2020.

SALGOT, M., FOLCH, M. Wastewater treatment and water reuse, **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 2, p. 64–74, 2018.

SANTOS, M. L. F. dos; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (coordenadores). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 427 p., 2006.

SUMISHA, A., ARTHANAREESWARAN, G., THUYAVAN, Y. L., ISMAIL, A. F., CHAKRABORTY, S. Treatment of laundry wastewater using polyethersulfone/polyvinylpyrrolidone ultrafiltration membranes. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.121, p. 174-179. 2015.

TREVISAN, L; ORSSATTO, F. Tratamento de Águas Residuárias e Mecanismos de Gestão Hídrica de uma Universidade em Foz do Iguaçu/PR, **Journal of Environmental Management and Sustainability – JEMS**, v.6, n. 3, 2017.

USEPA. U. S. Environmental Protection Agency. **Guidelines for water reuse**. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 1992

USEPA. U. S. Environmental Protection Agency. **Guidelines for water reuse**. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2012

VON SPERLING, M., Inter-American Development Bank. **Urban Wastewater Treatment in Brazil**. IBD-TN-970. Washington, DC: United States, 2016

VON SPERLING, M.. **Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors**. Londres: IWA PUBLISHING. 2007.

VON SPERLING, M.. **Basic Principles of Wastewater Treatment**. Londres: IWA PUBLISHING. 2007.

VON SPERLING, M.. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: DESA-UFMG. TREVISAN. 2014.

VON SPERLING, M.. **Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal**. Londres: IWA PUBLISHING. 2007.

VOULVOULIS, N. Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, v. 2, p. 32-45, 2018.

VOUROS, G.A., PANTELAKIS, I.S.; LEKKAS, T. D.. **Knowledge representation in an activated sludge plant diagnosis system**, Expert Systems, Grécia, v. 17, n. 5. 2000.

WEBER, C. C., CYBIS, L. F., BEAL, L., Reúso da água como ferramenta de revitalização de uma estação de tratamento de efluentes, **Engenharia Sanitária Ambiental** (Nota Técnica), v. 15, n. 2, p, 119-128, 2010.

XU, H., KONING, J., GENG, Y. Reliability and efficiency of an advanced tertiary treatment process for wastewater reclamation, **Journal of Water Reuse and Desalination**, v. 4, n. 9, 2019.

ZHANG, C. M., XU, L. M., XU, P. C., WANG, X. C. Elimination of viruses from domestic wastewater: requirements and technologies. **World J Microbiol Biotechnol**, v.32, p. 32-69. 2016.

APÊNDICE A – Planilhas de Resultados do Efluente Tratado, Água de Reuso e Torres, considerando os requisitos aplicáveis atuais.

Efluente Tratado						
Parâmetro	pH	DBO	Eficiência	DQO	Eficiência	Sólidos Sedimentáveis
Unidade	-	mgO2/L	%	mgO2/L	%	mL/h
Controle In.	5,0	-	80%	-	80%	-
Controle S.	9,0	60,0	-	240,0	-	1,0
Amostra 1	7,29	32,70	91%	87,19	92%	0,1
Amostra 2	7,5	162,90	88%	485,50	88%	0,1
Amostra 3	7,23	182,20	75%	518,80	79%	0,1
Amostra 4	7,18	106,90	89%	319,10	91%	0,1
Amostra 5	7,06	34,60	71%	98,47	73%	0,1
Amostra 6	6,23	31,30	91%	64,18	91%	0,1
Amostra 7	7,39	114,40	76%	240,00	75%	0,1
Amostra 8	7,38	104,90	79%	233,00	78%	0,1
Amostra 9	6,47	71,70	99%	151,00	99%	0,1
Amostra 10	6,87	9,10	90%	18,09	89%	0,1
Amostra 11	7,39	20,70	77%	45,97	74%	0,1
Amostra 12	7,17	54,00	77%	112,21	76%	0,2
Amostra 13	6,82	60,00	34%	137,05	30%	0,1
Amostra 14	7,28	67,90	59%	127,12	59%	0,1
Amostra 15	6,7	3,30	98%	131,00	80%	2
Amostra 16	6,71	11,00	91%	210,00	65%	0
Amostra 17	6,3	16,00	96%	151,00	96%	0
Amostra 18	7,82	4,0	38%	45,00	67%	0
Amostra 19	6,3	9,7	94%	166,00	75%	0
Amostra 20	6,87	17,00	98%	154,00	62%	0
Amostra 21	7,24	3,10	99%	112,00	56%	0
Amostra 22	7,04	6,10	98%	169,00	79%	0,1
Amostra 23	7,43	25,00	86%	252,00	39%	0,2
Amostra 24	7	41,00	84%	301,00	43%	0

Água de Reuso				
Parâmetro	Boro	Coliformes Totais	Cloro Residual	Turbidez
Unidade	mg/L	UFC/100ml	mg/L	NTU
Controle In.	-	-	0,5	-
Controle S.	5,0	Ausência	2,0	50,0
Amostra 1	1,98	Ausência	0	0,50
Amostra 2	1,27	Presença	0	0,40
Amostra 3	0,20	Presença	0,36	0,70
Amostra 4	0,50	Ausência	0	2,30
Amostra 5	0,31	Ausência	0,16	2,90
Amostra 6	0,20	Presença	0	1,50
Amostra 7	0,71	Presença	0,38	3,10
Amostra 8	-	Ausência	0,02	-
Amostra 9	-	Presença	0,15	-
Amostra 10	-	-	0,67	-

Água de Reuso								
Parâmetro	pH	Alcalinidade Total	Cloretos	Condutivid.	S.T.D.	Dureza Total	Ferro Total	Silica Total
Unidade	-	ppm CaCO3	ppm Cl	us/cm	ppm	ppm CaCO3	ppm Fe	ppm SiO2
Controle In.	6,0	-	-	-	-	-	-	-
Controle S.	9,0	700,0	500,0	3500,0	2600,0	700,0	1,0	150,0
Amostra 1	7,00	50,00	234,30	1.162,00	871,50	20,00	0,30	1,00
Amostra 2	6,80	45,00	259,15	1.378,00	1.033,50	180,00	0,24	2,00
Amostra 3	6,70	65,00	220,10	1.114,00	835,50	0,00	0,15	1,00
Amostra 4	6,70	50,00	266,25	1.221,00	915,75	192,00	1,00	2,00
Amostra 5	7,80	150,00	195,25	849,00	636,75	0,00	0,25	20,00
Amostra 6	6,90	50,00	319,50	1.228,00	921,00	0,00	0,51	15,00
Amostra 7	7,20	80,00	213,00	1.349,00	1.011,75	18,00	0,45	13,00
Amostra 8	7,00	80,00	599,95	2.880,00	2.160,00	32,00	0,38	20,00
Amostra 9	6,90	80,00	411,80	1.674,00	1.255,50	32,00	0,40	25,00
Amostra 10	7,40	150,00	376,30	1.649,00	1.236,75	60,00	0,32	18,00
Amostra 11	6,60	125,00	347,90	1.762,00	1.321,50	40,00	0,28	26,00
Amostra 12	6,80	155,00	436,65	2.000,00	1.500,00	12,00	0,33	27,00
Amostra 13	6,90	45,00	234,30	1.098,00	823,50	294,00	0,35	17,00
Amostra 14	6,80	90,00	443,75	1.858,00	1.393,50	224,00	0,64	22,00
Amostra 15	7,00	95,00	305,30	1.250,00	937,50	178,00	1,00	19,00
Amostra 16	6,90	90,00	244,95	1.348,00	1.011,00	194,00	0,05	26,00
Amostra 17	6,20	120,00	269,80	1.507,00	1.130,25	284,00	0,11	31,00
Amostra 18	6,70	60,00	301,75	1.429,00	1.071,75	204,00	0,05	30,00
Amostra 19	6,90	165,00	355,00	1.554,00	1.165,50	186,00	0,43	42,00
Amostra 20	6,90	100,00	301,75	1.268,00	951,00	218,00	0,28	23,00
Amostra 21	6,70	90,00	312,40	1.355,00	1.016,25	200,00	0,17	17,00
Amostra 22	6,90	165,00	355,00	1.554,00	1.165,50	186,00	0,43	42,00
Amostra 23	6,90	100,00	301,75	1.268,00	951,00	218,00	0,28	23,00
Amostra 24	6,70	90,00	312,40	1.355,00	1.016,25	200,00	0,17	17,00
Amostra 25	6,30	115,00	390,50	1.476,00	1.107,00	254,00	1,11	13,00

Água de Reuso - Cojunto Torres - T1								
Parâmetro	pH	Alcalinidade Total	Cloretos	Condutivid.	S.T.D.	DurezaTotal	Ferro Total	Silica Total
Unidade	-	ppm CaCO3	ppm Cl	us/cm	ppm	ppm CaCO3	ppm Fe	ppm SiO2
Controle In.	6,0	-	-	-	-	-	-	-
Controle S.	9,0	700,0	500,0	3500,0	2600,0	700,0	1,0	150,0
Amostra 1	9,30	1.440,00	9.798,00	42.720,00	32.040,00	700,00	0,05	42,00
Amostra 2	8,20	195,00	607,05	3.140,00	2.355,00	486,00	0,30	21,00
Amostra 3	8,50	655,00	7.188,75	14.620,00	10.965,00	2.180,00	0,05	33,00
Amostra 4	8,40	750,00	12.425,00	29.620,00	22.215,00	4.970,00	0,06	95,00
Amostra 5	8,50	595,00	14.235,50	49.920,00	37.440,00	3.330,00	0,05	100,00
Amostra 6	8,50	850,00	17.572,50	57.950,00	43.462,50	2.580,00	0,07	169,00
Amostra 7	8,70	900,00	17.466,00	17.710,00	13.282,50	352,00	0,12	181,00
Amostra 8	8,60	820,00	14.555,00	55.800,00	41.850,00	1.620,00	0,05	172,00
Amostra 9	8,70	900,00	17.395,00	44.280,00	33.210,00	3.360,00	0,19	199,00
Amostra 10	8,60	1.450,00	17.217,50	58.450,00	43.837,50	1.340,00	0,25	278,00
Amostra 11	8,40	1.050,00	36.210,00	71.650,00	53.737,50	1.660,00	0,18	196,00
Amostra 12	8,60	510,00	2.627,00	76.150,00	57.112,50	3.400,00	0,33	189,00
Amostra 13	8,40	850,00	39.937,50	139.800,00	104.850,00	13.000,00	0,05	242,00
Amostra 14	8,50	2.125,00	17.040,00	72.900,00	54.675,00	3.560,00	0,25	270,00
Amostra 15	8,50	785,00	10.756,50	33.300,00	24.975,00	3.100,00	0,05	271,00
Amostra 16	8,50	405,00	4.277,75	1.423,00	1.067,25	2.822,00	0,05	144,00
Amostra 17	8,50	700,00	11.413,25	36.750,00	27.562,50	4.490,00	0,05	254,00
Amostra 18	8,60	485,00	8.342,50	3.070,00	2.302,50	4.720,00	0,50	209,00
Amostra 19	8,50	830,00	12.957,50	34.600,00	25.950,00	4.940,00	1,76	156,00
Amostra 20	8,50	715,00	15.975,00	34.300,00	25.725,00	5.450,00	1,06	184,00
Amostra 21	8,50	895,00	18.602,00	70.500,00	52.875,00	6.160,00	0,05	255,00
Amostra 22	8,20	650,00	19.294,25	72.900,00	54.675,00	5.460,00	1,36	225,00
Amostra 23	8,40	850,00	16.330,00	58.400,00	43.800,00	4.110,00	3,49	152,00
Amostra 24	8,50	825,00	27.690,00	77.250,00	57.937,50	3.900,00	1,08	147,00
Amostra 25	8,50	830,00	32.305,00	84.800,00	63.600,00	4.990,00	0,47	245,00

Água de Reuso - T2								
Parâmetro	pH	Alcalinidade Total	Cloretos	Condutivid.	S.T.D.	Dureza Total	Ferro Total	Silica Total
Unidade	-	ppm CaCO3	ppm Cl	us/cm	ppm	ppm CaCO3	ppm Fe	ppm SiO2
Controle In.	6,0	-	-	-	-	-	-	-
Controle S.	9,0	700,0	500,0	3500,0	2600,0	700,0	1,0	150,0
Amostra 1	9,20	365,00	1.192,80	5.960,00	4.470,00	166,00	1,00	9,00
Amostra 2	10,00	430,00	720,65	4.040,00	3.030,00	100,00	2,43	7,00
Amostra 3	9,30	840,00	724,20	3.690,00	2.767,50	126,00	1,23	4,00
Amostra 4	9,10	1.810,00	692,25	3.830,00	2.872,50	280,00	2,66	38,00
Amostra 5	8,80	255,00	720,65	3.950,00	2.962,50	240,00	2,98	34,00
Amostra 6	9,60	855,00	1.491,00	4.180,00	3.135,00	134,00	0,82	38,00
Amostra 7	8,70	260,00	504,10	2.740,00	2.055,00	68,00	0,85	33,00
Amostra 8	9,50	1.165,00	1.810,50	8.010,00	6.007,50	184,00	0,78	38,00
Amostra 9	8,80	640,00	2.062,55	7.510,00	5.632,50	376,00	0,76	53,00
Amostra 10	8,60	485,00	1.079,20	5.020,00	3.765,00	160,00	1,02	43,00
Amostra 11	8,40	290,00	951,40	4.330,00	3.247,50	212,00	0,66	50,00
Amostra 12	8,50	410,00	869,75	4.240,00	3.180,00	98,00	0,59	42,00
Amostra 13	7,30	140,00	497,00	2.470,00	1.852,50	360,00	0,05	40,00
Amostra 14	-	-	-	-	-	-	-	-
Amostra 15	8,40	510,00	319,50	1.588,00	1.191,00	260,00	2,37	33,00
Amostra 16	8,80	700,00	333,70	2.110,00	1.582,50	202,00	2,56	45,00
Amostra 17	8,60	370,00	191,70	1.228,00	921,00	182,00	2,73	41,00
Amostra 18	7,50	105,00	227,20	988,00	741,00	210,00	2,67	33,00
Amostra 19	7,10	100,00	209,45	793,00	594,75	226,00	2,17	26,00
Amostra 20	6,40	370,00	319,50	757,00	567,75	294,00	2,82	21,00
Amostra 21	6,80	125,00	209,45	755,00	566,25	254,00	2,98	52,00
Amostra 22	7,10	175,00	205,90	688,00	516,00	206,00	2,62	35,00
Amostra 23	7,40	190,00	124,25	441,00	330,75	210,00	3,07	25,00
Amostra 24	7,50	130,00	213,00	775,00	581,25	210,00	3,56	27,00
Amostra 25	8,00	215,00	1.072,10	4.150,00	3.112,50	412,00	1,16	32,00

Água de Reuso - T3								
Parâmetro	pH	Alcalinidade Total	Cloretos	Condutivid.	S.T.D.	Dureza Total	Ferro Total	Silica Total
Unidade	-	ppm CaCO3	ppm Cl	us/cm	ppm	ppm CaCO3	ppm Fe	ppm SiO2
Controle In.	6,0	-	-	-	-	-	-	-
Controle S.	8,0	700,0	500,0	3500,0	2600,0	700,0	1,0	150,0
Amostra 1	8,10	80,00	326,60	1.602,00	1.201,50	52,00	1,00	1,00
Amostra 2	7,80	115,00	678,50	3.360,00	2.520,00	232,00	0,17	10,00
Amostra 3	8,00	100,00	326,60	1.660,00	1.245,00	110,00	0,29	8,00
Amostra 4	7,50	70,00	305,30	1.585,00	1.188,75	218,00	0,27	19,00
Amostra 5	7,40	70,00	358,55	1.628,00	1.221,00	66,00	0,29	28,00
Amostra 6	6,10	25,00	362,10	1.808,00	1.356,00	218,00	0,58	25,00
Amostra 7	7,70	70,00	411,80	2.060,00	1.545,00	64,00	0,35	29,00
Amostra 8	8,40	255,00	2.016,40	8.150,00	6.112,50	152,00	0,29	28,00
Amostra 9	7,70	105,00	440,20	1.931,00	1.448,25	118,00	0,33	27,00
Amostra 10	7,70	185,00	468,60	2.270,00	1.702,50	60,00	0,27	26,00
Amostra 11	7,40	205,00	376,30	1.849,00	1.386,75	76,00	0,32	33,00
Amostra 12	7,70	100,00	507,65	2.550,00	1.912,50	240,00	0,40	28,00
Amostra 13	7,60	80,00	326,60	1.626,00	1.219,50	258,00	1,05	28,00
Amostra 14	-	-	-	-	-	-	-	-
Amostra 15	7,70	120,00	344,35	1.594,00	1.195,50	156,00	1,80	10,00
Amostra 16	7,50	120,00	386,95	2.120,00	1.590,00	286,00	0,91	20,00
Amostra 17	7,90	150,00	362,10	1.998,00	1.498,50	338,00	0,42	24,00
Amostra 18	7,30	50,00	305,30	1.488,00	1.116,00	220,00	1,21	31,00
Amostra 19	7,20	175,00	280,45	1.060,00	795,00	140,00	1,97	32,00
Amostra 20	7,40	100,00	426,00	1.689,00	1.266,75	212,00	0,64	49,00
Amostra 21	7,40	180,00	450,85	1.993,00	1.494,75	220,00	0,57	27,00
Amostra 22	7,20	115,00	383,40	1.575,00	1.181,25	70,00	0,27	20,00
Amostra 23	7,60	160,00	479,25	1.705,00	1.278,75	218,00	0,39	16,00
Amostra 24	7,90	130,00	383,40	1.620,00	1.215,00	200,00	0,05	22,00
Amostra 25	7,40	130,00	830,70	3.220,00	2.415,00	288,00	0,29	15,00

APÊNDICE B – Planilhas de Caracterização e Frequência de Inadequação dos parâmetros Efluente Tratado, considerando os requisitos aplicáveis.

Efluente Tratado						
Parâmetro	pH	DBO	Eficiência em Remoção DBO	DQO	Eficiência em Remoção DQO	Sólidos Sedimentáveis
Unidade	-	mgO2/L	%	mgO2/L	%	ml/L/h
Controle	5,0 a 9,0	60,0	80%	-	-	1,0
<i>Média</i>	7,00	47,83	83%	174,27	74%	0,15
<i>Mediana</i>	7,06	31,30	0,89	151,00	0,76	0,10
<i>Desvio padrão</i>	0,436214	50,52527	0,175997477	126,9672455	0,182729626	0,389572415
<i>Variância da amostra</i>	0,190282	2552,803	0,030975112	16120,68142	0,033390116	0,151766667
<i>Curtose</i>	-0,625	1,275202	2,703803775	1,964928411	0,316152504	23,69749908
<i>Assimetria</i>	-0,39828	1,399801	-1,69711043	1,3879901	-0,84444299	4,811536971
<i>Mínimo</i>	6,23	3,10	0,34	18,09	0,30	0,00
<i>Máximo</i>	7,82	182,20	0,99	518,80	0,99	2,00

Efluente Tratado							Freq. Inadequa
Parâmetro	pH	DBO	Eficiência	DQO	Eficiência	Sólidos Sedimentáveis	
Unidade	-	mgO2/L	%	mgO2/L	%	ml/L/h	
Controle In.	5,0	-	80%	-	80%	-	
Controle S.	9,0	60,0	-	75,0	-	1,0	
Amostra 1	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	17%
Amostra 2	DENTRO	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	33%
Amostra 3	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	67%
Amostra 4	DENTRO	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	33%
Amostra 5	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	50%
Amostra 6	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 7	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	67%
Amostra 8	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	67%
Amostra 9	DENTRO	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	33%
Amostra 10	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 11	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	33%
Amostra 12	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	50%
Amostra 13	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	50%
Amostra 14	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	67%
Amostra 15	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	50%
Amostra 16	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	33%
Amostra 17	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	17%
Amostra 18	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	33%
Amostra 19	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	33%
Amostra 20	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	33%
Amostra 21	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	33%
Amostra 22	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	33%
Amostra 23	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	33%
Amostra 24	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	33%
Freq. Inadequação:	0%	29%	38%	83%	71%	4%	

APÊNDICE C – Planilhas de Caracterização e Frequência de Inadequação dos parâmetros da Água de Reuso e Torres, considerando o 1º Cenário

Água de Reuso												
Parâmetro	pH	Alcalinidade Total	Cloretos	Condutiv.íd.	S.T.D.	DurezaTotal	Ferro Total	Silica Total	Boro	Cloro Residual	Turbidez	
Unidade	-	ppm CaCO3	ppm Cl	us/cm	ppm	ppm CaCO3	ppm Fe	ppm SiO2	mg/L	mg/L	NTU	
Controle - 1º Cenário	6,0 a 9,0	700,0	500,0	3500,0	2600,0	700,0	1,0	150,0	5,0	0,5 a 1,5	50,0	
Controle - 2º Cenário	6,0 a 9,0	350,0	350,0	3000,0	2000,0	650,0	0,5	50,0	3,0	0,5 a 2,0	10,0	
Controle - 3º Cenário	6,0 a 9,1	350,0	250,0	700,0	1000,0	500,0	0,3	50,0	0,7	0,5 a 2,0	5,0	
Média	6,86	96,20	320,35	1.463,44	1.097,58	137,04	0,39	19,68	0,74	0,17	1,63	
Mediana	6,90	90,00	305,30	1.355,00	1.016,25	186,00	0,32	20,00	0,50	0,09	1,50	
Desvio padrão	0,31	38,39	90,10	390,26	292,69	101,00	0,28	10,95	0,66	0,23	1,15	
Variância da amostra	0,10	1.473,50	8.118,40	152.301,01	85.669,32	10.201,71	0,08	119,98	0,44	0,05	1,32	
Curtose	3,29	-0,83	2,50	6,60	6,60	-1,59	1,67	0,21	0,99	1,11	-2,13	
Assimetria	0,76	0,44	1,25	2,05	2,05	-0,21	1,44	0,04	1,32	1,31	0,22	
Mínimo	6,20	45,00	195,25	849,00	636,75	0,00	0,05	1,00	0,20	0,00	0,40	
Máximo	7,80	165,00	599,95	2.880,00	2.160,00	294,00	1,11	42,00	1,98	0,67	3,10	

Água de Reuso - Conjunto Torres - T1								
Parâmetro	pH	Alcalinidade Total	Cloretos	Condutivid.	S.T.D.	DurezaTotal	Ferro Total	Silica Total
Unidade	-	ppm CaCO3	ppm Cl	us/cm	ppm	ppm CaCO3	ppm Fe	ppm SiO2
Controle	6,0 a 9,0	700,0	500,0	3500,0	2600,0	700,0	1,0	150,0
Média	8,52	842,40	16.088,74	49.680,12	37.260,09	3.707,20	0,48	177,16
Mediana	8,50	825,00	15.975,00	49.920,00	37.440,00	3.400,00	0,18	184,00
Desvio padrão	0,200582	379,4462	9605,395648	31203,01297	23402,25973	2541,668481	0,781093	74,16855
Variância da amostra	0,040233	143979,42	92263625,55	973628018,7	547665760,5	6460078,667	0,610106	5500,973
Curtose	9,403218	4,898535	0,971275467	1,516078463	1,516078463	6,73412221	9,008291	-0,20246
Assimetria	2,268006	1,7284151	0,921683532	0,669547293	0,669547293	1,931232778	2,814148	-0,67204
Mínimo	8,20	195,00	607,05	1.423,00	1.067,25	352,00	0,05	21,00
Máximo	9,30	2.125,00	39.937,50	139.800,00	104.850,00	13.000,00	3,49	278,00

Água de Reuso - T2								
Parâmetro	pH	Alcalinidade Total	Cloretos	Condutivid.	S.T.D.	DurezaTotal	Ferro Total	Silica Total
Unidade	-	ppm CaCO3	ppm Cl	us/cm	ppm	ppm CaCO3	ppm Fe	ppm SiO2
Controle	6,0 a 9,0	700,0	500,0	3500,0	2600,0	700,0	1,0	150,0
Média	8,31	455,63	697,58	3.093,46	2.320,09	215,42	1,86	33,29
Mediana	8,55	367,50	598,18	3.215,00	2.411,25	210,00	2,27	34,50
Desvio padrão	0,967703	398,11871	536,2191426	2180,465825	1635,349369	86,30679185	1,036822	13,10983
Variância da amostra	0,936449	158498,51	287530,9689	4754431,216	2674367,559	7448,862319	1,074999	171,8678
Curtose	-0,82887	4,9998937	0,675743521	-0,20738849	-0,20738849	0,251688854	-1,55399	0,361176
Assimetria	-0,28402	2,0412871	1,11159424	0,642419651	0,642419651	0,56806599	-0,1172	-0,7911
Mínimo	6,40	100,00	124,25	441,00	330,75	68,00	0,05	4,00
Máximo	10,00	1.810,00	2.062,55	8.010,00	6.007,50	412,00	3,56	53,00

Água de Reuso - T3								
Parâmetro	pH	Alcalinidade Total	Cloretos	Condutivid.	S.T.D.	DurezaTotal	Ferro Total	Silica Total
Unidade	-	ppm CaCO3	ppm Cl	us/cm	ppm	ppm CaCO3	ppm Fe	ppm SiO2
Controle	6,0 a 9,0	700,0	500,0	3500,0	2600,0	700,0	1,0	150,0
Média	7,57	120,42	480,75	2.172,54	1.629,41	175,50	0,59	23,17
Mediana	7,60	115,00	383,40	1.756,50	1.317,38	206,00	0,37	25,50
Desvio padrão	0,425969	53,200128	349,1780624	1374,420415	1030,815311	83,55628147	0,496784	9,994201
Variância da amostra	0,181449	2830,2536	121925,3192	1889031,476	1062580,206	6981,652174	0,246794	99,88406
Curtose	5,654654	0,4711226	17,77614329	16,85920075	16,85920075	-1,046011475	2,331543	1,265101
Assimetria	-1,46406	0,6338382	4,044256325	3,891313336	3,891313336	-0,022358054	1,682735	0,00747
Mínimo	6,10	25,00	280,45	1.060,00	795,00	52,00	0,05	1,00
Máximo	8,40	255,00	2.016,40	8.150,00	6.112,50	338,00	1,97	49,00

Água de Reuso					
Parâmetro	Boro	Coliformes Totais	Cloro Residual	Turbidez	
Unidade	mg/L	UFC/100ml	mg/L	NTU	
Controle In.	-	-	0,5	-	Freq.
Controle S.	5,0	Ausência	2,0	50,0	Inadequa
Amostra 1	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	33%
Amostra 2	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	67%
Amostra 3	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	67%
Amostra 4	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	33%
Amostra 5	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	33%
Amostra 6	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	67%
Amostra 7	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	67%
Amostra 8	-	DENTRO	FORA	-	33%
Amostra 9	-	FORA	FORA	-	67%
Amostra 10	-	-	DENTRO	-	0%
Freq. Inadequação:	0%	56%	100%	0%	

Água de Reuso									
Parâmetro	pH	Alcalinidade Total	Cloretos	Condutivid.	S.T.D.	Dureza Total	Ferro Total	Silica Total	
Unidade	-	ppm CaCO3	ppm Cl	us/cm	ppm	ppm CaCO3	ppm Fe	ppm SiO2	
Controle In.	6,0	-	-	-	-	-	-	-	Freq.
Controle S.	9,0	700,0	500,0	3500,0	2600,0	700,0	1,0	150,0	Inadequa
Amostra 1	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 2	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 3	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 4	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 5	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 6	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 7	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 8	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	13%
Amostra 9	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 10	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 11	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 12	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 13	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 14	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 15	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 16	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 17	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 18	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 19	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 20	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 21	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 22	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 23	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 24	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 25	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Freq. Inadequação:	0%	0%	4%	0%	0%	0%	4%	0%	

Água de Reuso - Cojunto Torres - T1									
Parâmetro	pH	Alcalinidade Total	Cloretos	Condutivid.	S.T.D.	DurezaTotal	Ferro Total	Silica Total	
Unidade	-	ppm CaCO3	ppm Cl	us/cm	ppm	ppm CaCO3	ppm Fe	ppm SiO2	
Controle In.	6,0	-	-	-	-	-	-	-	Freq.
Controle S.	9,0	700,0	500,0	3500,0	2600,0	700,0	1,0	150,0	Inadequa
Amostra 1	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	63%
Amostra 2	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	13%
Amostra 3	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	50%
Amostra 4	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	63%
Amostra 5	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	50%
Amostra 6	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	75%
Amostra 7	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	FORA	63%
Amostra 8	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	75%
Amostra 9	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	75%
Amostra 10	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	75%
Amostra 11	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	75%
Amostra 12	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	63%
Amostra 13	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	75%
Amostra 14	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	75%
Amostra 15	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	75%
Amostra 16	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	25%
Amostra 17	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	63%
Amostra 18	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	FORA	38%
Amostra 19	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	88%
Amostra 20	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	88%
Amostra 21	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	75%
Amostra 22	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	75%
Amostra 23	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	88%
Amostra 24	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	75%
Amostra 25	DENTRO	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	75%
Freq. Inadequação:	4%	68%	100%	88%	88%	88%	20%	72%	

Água de Reuso - T2									
Parâmetro	pH	Alcalinidade Total	Cloretos	Condutivid.	S.T.D.	DurezaTotal	Ferro Total	Silica Total	
Unidade	-	ppm CaCO3	ppm Cl	us/cm	ppm	ppm CaCO3	ppm Fe	ppm SiO2	
Controle In.	6,0	-	-	-	-	-	-	-	Freq.
Controle S.	9,0	700,0	500,0	3500,0	2600,0	700,0	1,0	150,0	Inadequa
Amostra 1	FORA	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	50%
Amostra 2	FORA	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	63%
Amostra 3	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	75%
Amostra 4	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	75%
Amostra 5	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	50%
Amostra 6	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	63%
Amostra 7	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	13%
Amostra 8	FORA	FORA	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	63%
Amostra 9	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	38%
Amostra 10	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	50%
Amostra 11	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	38%
Amostra 12	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	38%
Amostra 13	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 14	-	-	-	-	-	-	-	-	0%
Amostra 15	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 16	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 17	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 18	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 19	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 20	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 21	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 22	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 23	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 24	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 25	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	50%
Freq. Inadequação:	24%	16%	52%	48%	48%	0%	64%	0%	

Água de Reuso - T3									
Parâmetro	pH	Alcalinidade Total	Cloretos	Condutivid.	S.T.D.	DurezaTotal	Ferro Total	Silica Total	
Unidade	-	ppm CaCO3	ppm Cl	us/cm	ppm	ppm CaCO3	ppm Fe	ppm SiO2	
Controle In.	6,0	-	-	-	-	-	-	-	Freq.
Controle S.	9,0	700,0	500,0	3500,0	2600,0	700,0	1,0	150,0	Inadequa
Amostra 1	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 2	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	13%
Amostra 3	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 4	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 5	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 6	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 7	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 8	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	38%
Amostra 9	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 10	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 11	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 12	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	13%
Amostra 13	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 14	-	-	-	-	-	-	-	-	0%
Amostra 15	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 16	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 17	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 18	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 19	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 20	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 21	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 22	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 23	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 24	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 25	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	13%
Freq. Inadequação:	0%	0%	16%	4%	4%	0%	16%	0%	

APÊNDICE D – Planilhas de Frequência de Inadequação dos parâmetros da Água de Reuso e Torres, considerando o 2º Cenário

Água de Reuso					
Parâmetro	Boro	Coliformes Totais	Cloro Residual	Turbidez	Freq. Inadequa
Unidade	mg/L	UFC/100ml	mg/L	NTU	
Controle In.	-	-	0,5	-	
Controle S.	3,0	Ausência	2,0	10,0	
Amostra 1	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	33%
Amostra 2	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	67%
Amostra 3	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	67%
Amostra 4	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	33%
Amostra 5	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	33%
Amostra 6	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	67%
Amostra 7	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	67%
Amostra 8	-	DENTRO	FORA	-	33%
Amostra 9	-	FORA	FORA	-	67%
Amostra 10	-	-	DENTRO	-	0%
Freq. Inadequação:	0%	56%	100%	0%	

Água de Reuso									
Parâmetro	pH	Alcalinidade Total	Cloreto	Condutivid.	S.T.D.	Dureza Total	Ferro Total	Silica Total	Freq. Inadequa
Unidade	-	ppm CaCO3	ppm Cl	us/cm	ppm	ppm CaCO3	ppm Fe	ppm SiO2	
Controle In.	6,0	-	-	-	-	-	-	-	
Controle S.	9,0	350,0	350,0	3000,0	2000,0	650,0	0,5	50,0	
Amostra 1	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 2	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 3	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 4	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 5	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 6	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 7	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 8	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	25%
Amostra 9	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	13%
Amostra 10	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	13%
Amostra 11	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 12	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	13%
Amostra 13	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 14	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	25%
Amostra 15	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	13%
Amostra 16	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 17	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 18	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 19	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	13%
Amostra 20	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 21	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 22	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	13%
Amostra 23	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 24	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	0%
Amostra 25	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	25%
Freq. Inadequação:	0%	0%	32%	0%	4%	0%	20%	0%	

APÊNDICE E – Planilhas de Frequência de Inadequação dos parâmetros da Água de Reuso e Torres, considerando o 3º Cenário

Água de Reuso					
Parâmetro	Boro	Coliformes Totais	Cloro Residual	Turbidez	
Unidade	mg/L	UFC/100ml	mg/L	NTU	
Controle In.	-	-	0,5	-	Freq. Inadequa
Controle S.	0,7	Ausência	2,0	5,0	
Amostra 1	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	33%
Amostra 2	FORA	FORA	FORA	DENTRO	67%
Amostra 3	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	67%
Amostra 4	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	33%
Amostra 5	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	33%
Amostra 6	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	67%
Amostra 7	FORA	FORA	FORA	DENTRO	67%
Amostra 8	-	DENTRO	FORA	-	33%
Amostra 9	-	FORA	FORA	-	67%
Amostra 10	-	-	DENTRO	-	0%
Freq. Inadequação:	33%	56%	100%	0%	

Água de Reuso									
Parâmetro	pH	Alcalinidade Total	Cloretos	Condutivid.	S.T.D.	DurezaTotal	Ferro Total	Silica Total	
Unidade	-	ppm CaCO3	ppm Cl	us/cm	ppm	ppm CaCO3	ppm Fe	ppm SiO2	
Controle In.	6,0	-	-	-	-	-	-	-	Freq. Inadequa
Controle S.	9,0	350,0	250,0	700,0	1000,0	500,0	0,3	50,0	
Amostra 1	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	13%
Amostra 2	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	38%
Amostra 3	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	13%
Amostra 4	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	38%
Amostra 5	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	13%
Amostra 6	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	38%
Amostra 7	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	38%
Amostra 8	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	50%
Amostra 9	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	50%
Amostra 10	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	50%
Amostra 11	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	38%
Amostra 12	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	50%
Amostra 13	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	25%
Amostra 14	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	50%
Amostra 15	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	FORA	DENTRO	38%
Amostra 16	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	25%
Amostra 17	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	38%
Amostra 18	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	38%
Amostra 19	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	50%
Amostra 20	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	25%
Amostra 21	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	38%
Amostra 22	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	50%
Amostra 23	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	DENTRO	25%
Amostra 24	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	DENTRO	DENTRO	38%
Amostra 25	DENTRO	DENTRO	FORA	FORA	FORA	DENTRO	FORA	DENTRO	50%
Freq. Inadequação:	0%	0%	76%	100%	64%	0%	52%	0%	

APÊNDICE F – Planilhas de Correlação entre Parâmetros do Efluente Tratado e Água de Reuso

Parâmetro	Efluente Tratado						Água de Reuso					
	pH	DBO	Eficiência	DQO	Eficiência	pH	Alcalinidade Total	Cloretos	Condutiv. S.T.D.	Dureza Total	Ferro Total	Silica Total
Amostragem 1	7,39	20,70	77%	45,97	74%	7,00	95,00	305,30	1.250,00	937,50	178,00	19,00
Amostragem 2	6,82	60,00	34%	137,05	30%	6,90	90,00	244,95	1.348,00	1.011,00	194,00	26,00
Amostragem 3	7,28	67,90	59%	127,12	59%	6,20	120,00	269,80	1.507,00	1.130,25	284,00	31,00
Amostragem 4	6,7	3,30	98%	131,00	80%	6,70	60,00	301,75	1.429,00	1.071,75	204,00	30,00
Amostragem 5	6,71	11,00	91%	210,00	65%	6,90	165,00	355,00	1.554,00	1.165,50	186,00	42,00
Amostragem 6	6,3	16,00	96%	151,00	96%	6,90	100,00	301,75	1.268,00	951,00	218,00	23,00
Amostragem 7	7,82	4,0	38%	45,00	67%	6,70	90,00	312,40	1.355,00	1.016,25	200,00	17,00
Amostragem 8	6,3	9,7	94%	166,00	75%	6,90	165,00	355,00	1.554,00	1.165,50	186,00	42,00
Amostragem 9	6,87	17,00	98%	154,00	62%	6,30	115,00	390,50	1.476,00	1.107,00	254,00	13,00

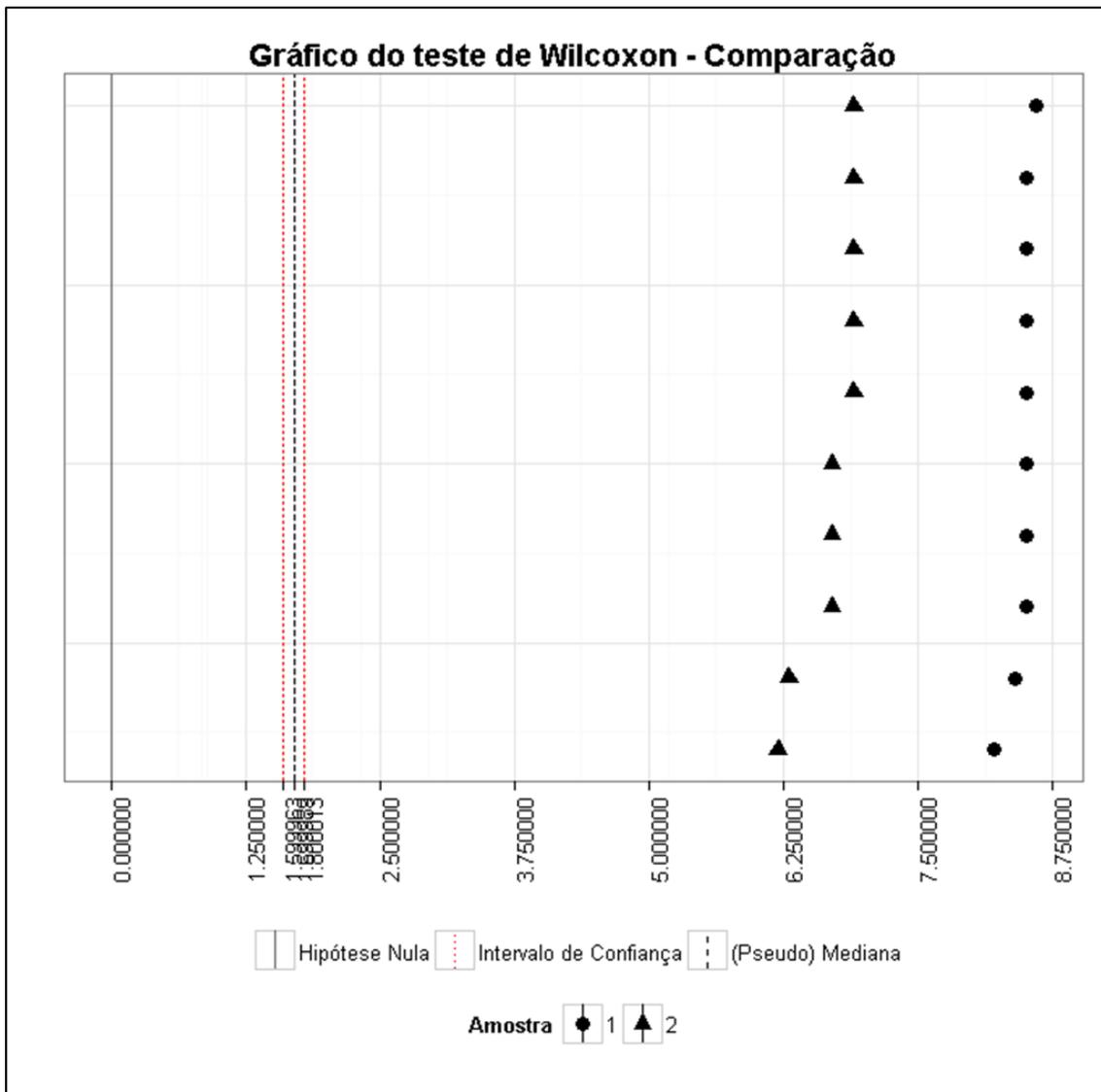
Matriz de Correlação

	pH	DBO	Eficiencia DBO	DQO	Eficiencia DQO	pH	Alcalinidade_Total	Cloretos	Condutivid	S_T_D	DurezaTotal	Ferro_Total	Silica_Total
pH	1	0,146146887	-0,649374984	-0,791240277	-0,286723895	-0,283225004	-0,340576974	-0,230664517	-0,260471356	-0,260471356	0,129031636	0,060485083	-0,508135064
DBO	0,146146887	1	-0,543702961	0,018669587	-0,658920884	-0,36381572	-0,036866149	-0,657730633	0,001809021	0,001809021	0,503134841	-0,267684842	0,012400112
Eficiencia DBO	-0,649374984	-0,543702961	1	0,509379837	0,685742821	0,03211564	0,279100073	0,66210234	0,272899496	0,272899496	0,000749391	0,435034843	0,23607469
DQO	-0,791240277	0,018669587	0,509379837	1	-0,027381259	-0,036547846	0,601308863	0,352457262	0,656348126	0,656348126	0,108622416	-0,08699501	0,637749067
Eficiencia DQO	-0,286723895	-0,658920884	0,685742821	-0,027381259	1	0,179847059	-0,01051237	0,345296348	-0,175518736	-0,175518736	-0,082864986	0,15091745	0,017318641
pH	-0,283225004	-0,36381572	0,03211564	-0,036547846	0,179847059	1	0,053400678	-0,10836238	-0,403115804	-0,403115804	-0,934055871	-0,045805742	0,262341587
Alcalinidade_Total	-0,340576974	-0,036866149	0,279100073	0,601308863	-0,01051237	0,053400678	1	0,531756609	0,685824633	0,685824633	-0,048012304	0,226859458	0,640597488
Cloretos	-0,230664517	-0,657730633	0,66210234	0,352457262	0,345296348	-0,10836238	0,531756609	1	0,471488788	0,471488788	-0,040240237	0,659704142	0,040007089
Condutivid	-0,260471356	0,001809021	0,272899496	0,656348126	-0,175518736	-0,403115804	0,685824633	0,471488788	1	1	0,258510334	-0,065183294	0,657043997
S_T_D	-0,260471356	0,001809021	0,272899496	0,656348126	-0,175518736	-0,403115804	0,685824633	0,471488788	1	1	0,258510334	-0,065183294	0,657043997
DurezaTotal	0,129031636	0,503134841	0,000749391	0,108622416	-0,082864986	-0,934055871	-0,048012304	-0,040240237	0,258510334	0,258510334	1	-0,016596659	-0,245709887
Ferro_Total	0,060485083	-0,267684842	0,435034843	-0,08699501	0,15091745	-0,045805742	0,226859458	0,659704142	-0,065183294	-0,065183294	-0,016596659	1	-0,393984039
Silica_Total	-0,508135064	0,012400112	0,23607469	0,637749067	0,017318641	0,262341587	0,640597488	0,040007089	0,657043997	0,657043997	-0,245709887	-0,393984039	1

APÊNDICE G – Testes Wilcoxon Mann-Whitney entre amostras de Água de Reuso e Águas das Torres

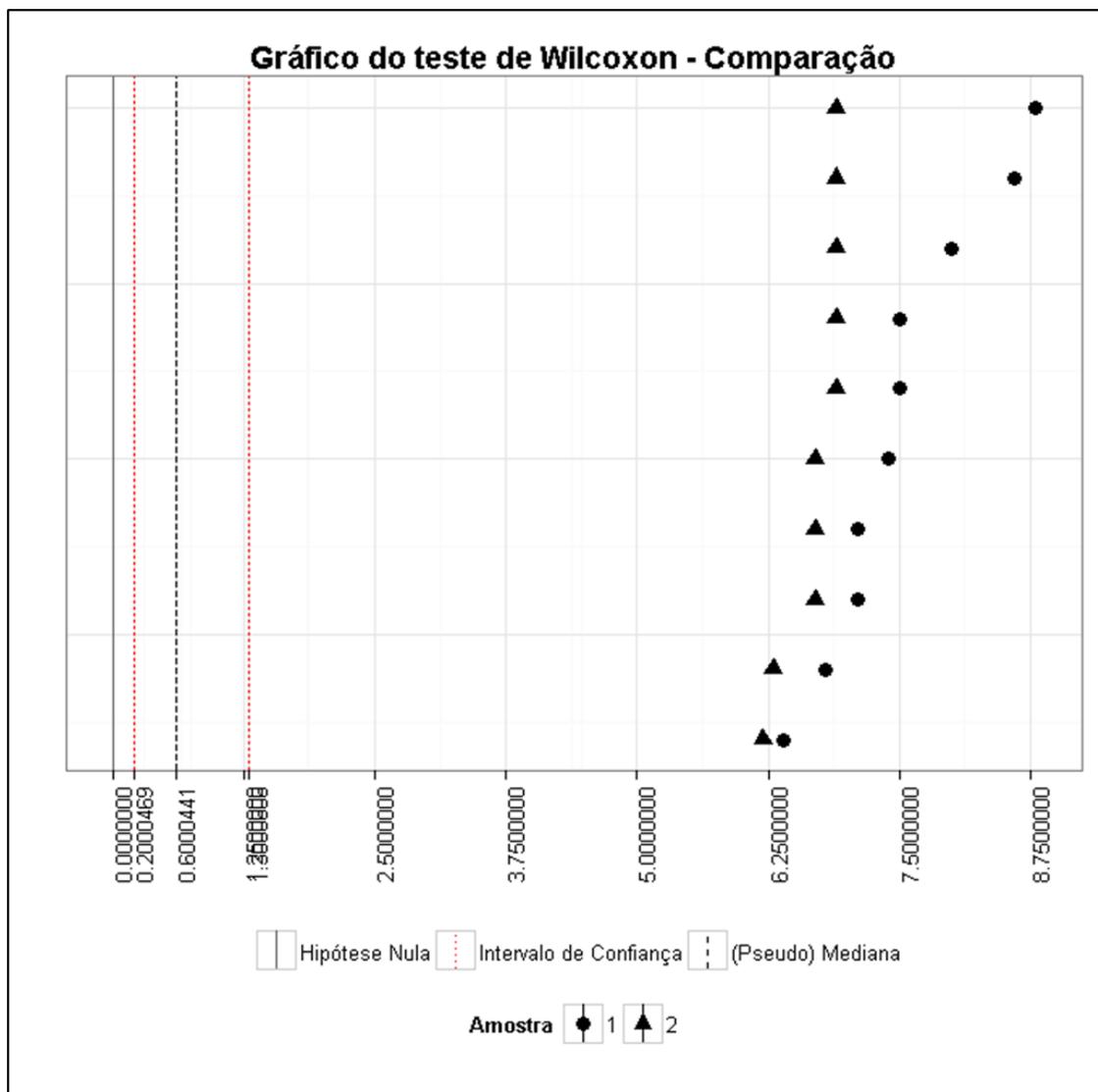
Teste pH T1 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	100
P-valor	1,00E-04
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	1,599963067
(Pseudo) Mediana	1,699989224
Limite Superior	1,800012771
Nível de Confiança	0,95



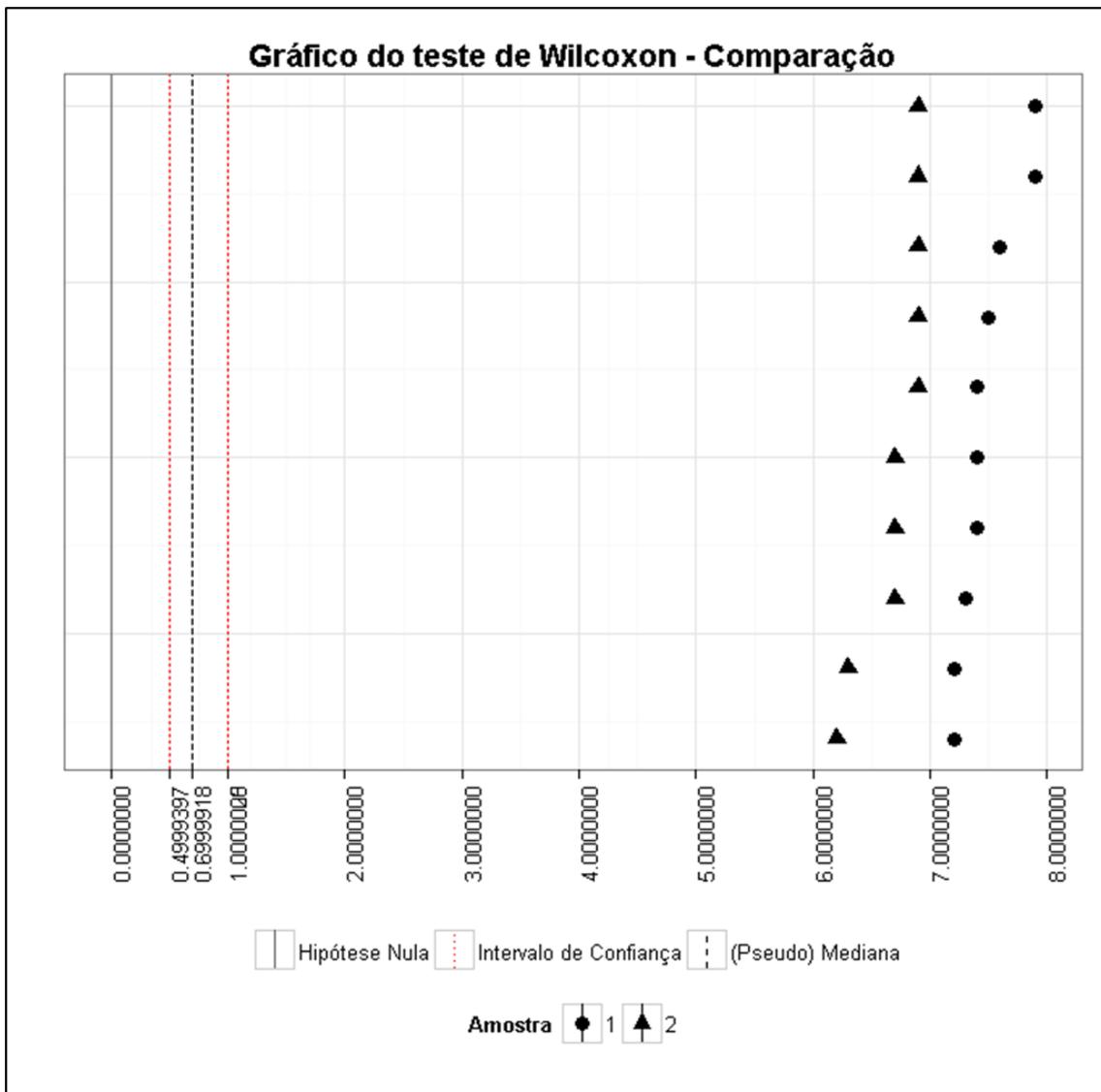
Teste pH T2 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	87
P-valor	0,0053
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	0,200046902
(Pseudo) Mediana	0,60004413
Limite Superior	1,300060627
Nível de Confiança	0,95



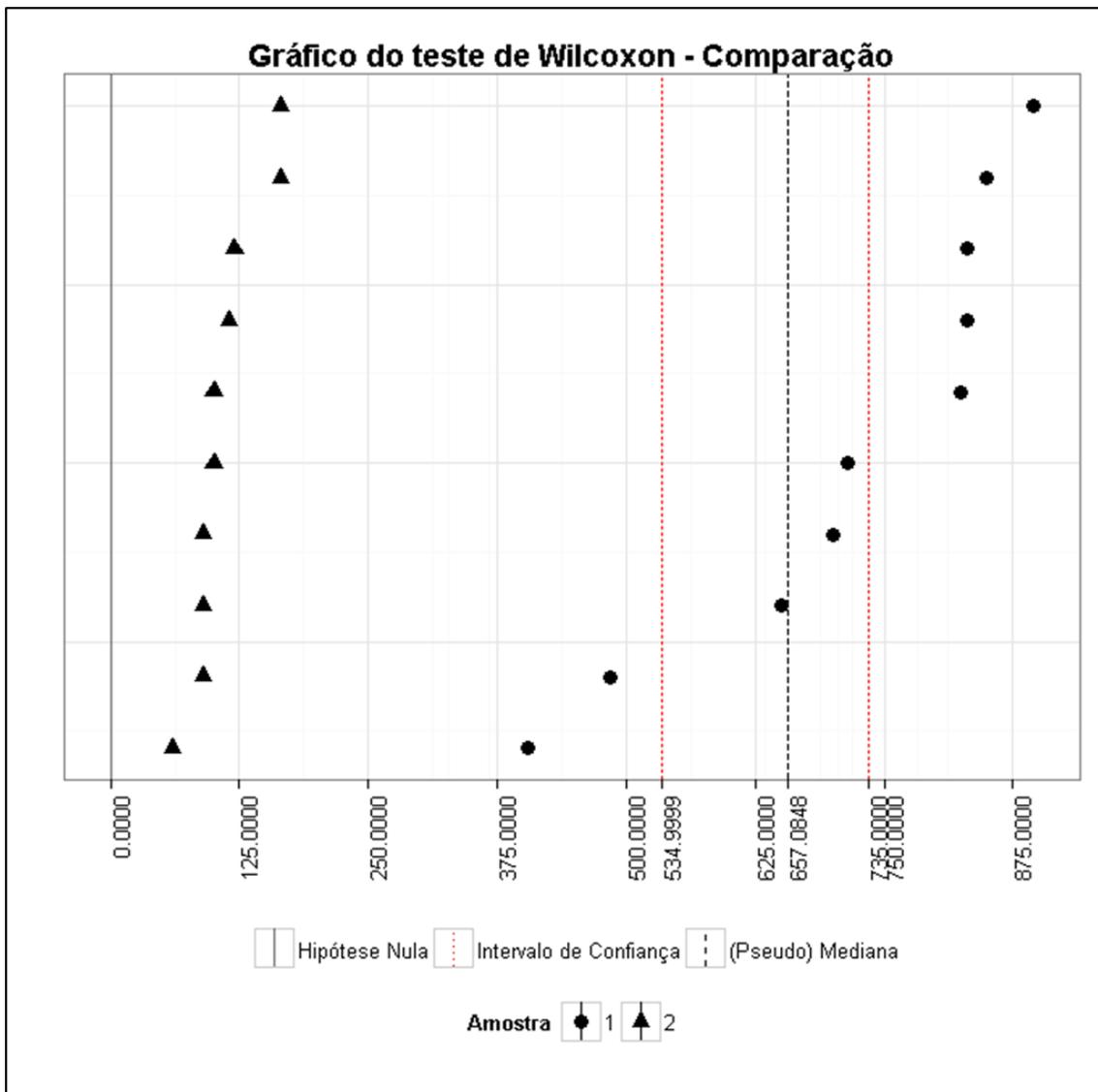
Teste pH T3 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	100
P-valor	2,00E-04
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	0,499939699
(Pseudo) Mediana	0,699991768
Limite Superior	1,00000252
Nível de Confiança	0,95



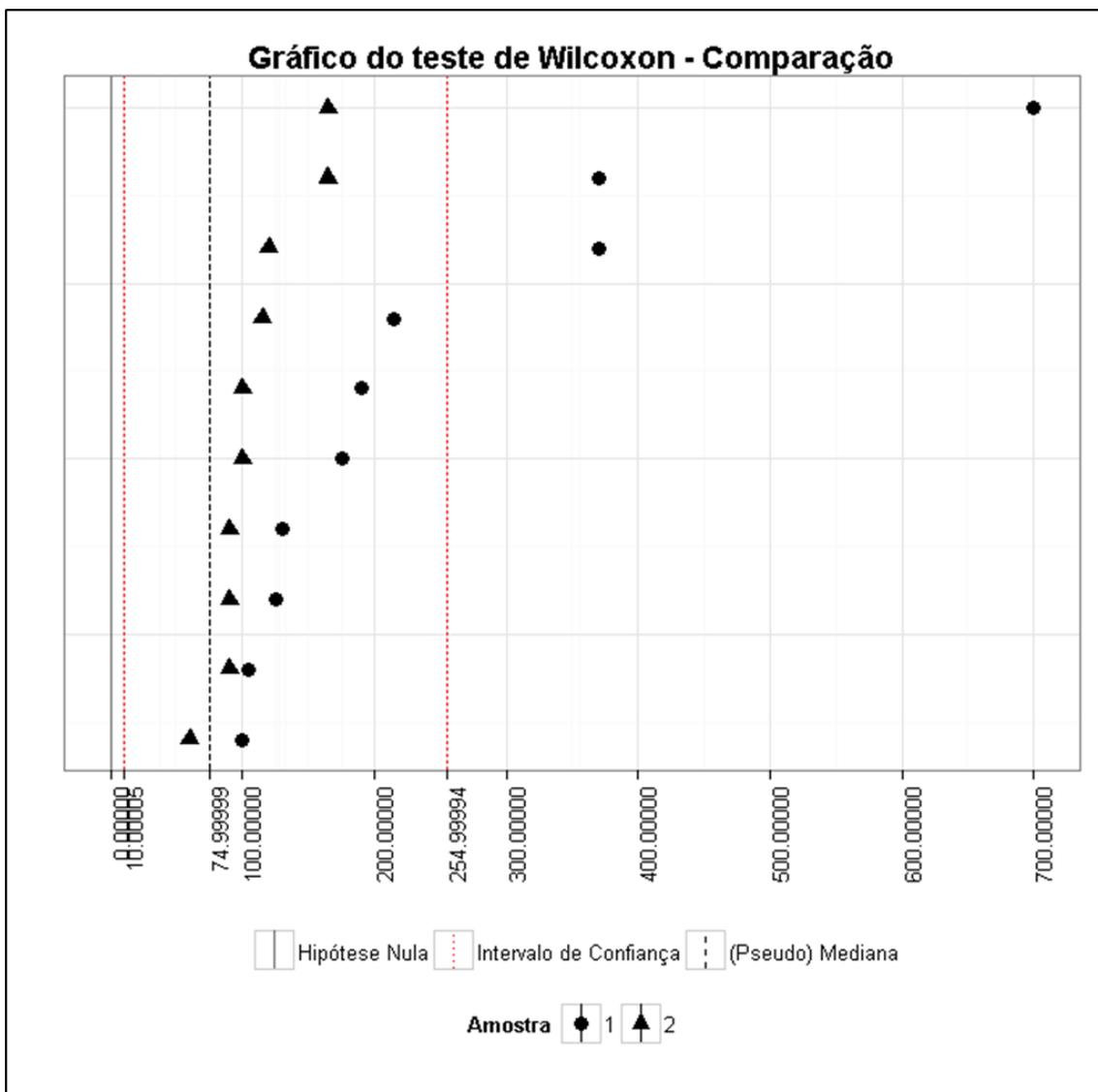
Teste Alcalinidade T1 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	100
P-valor	2,00E-04
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	534,9999485
(Pseudo) Mediana	657,0847912
Limite Superior	735,0000293
Nível de Confiança	0,95



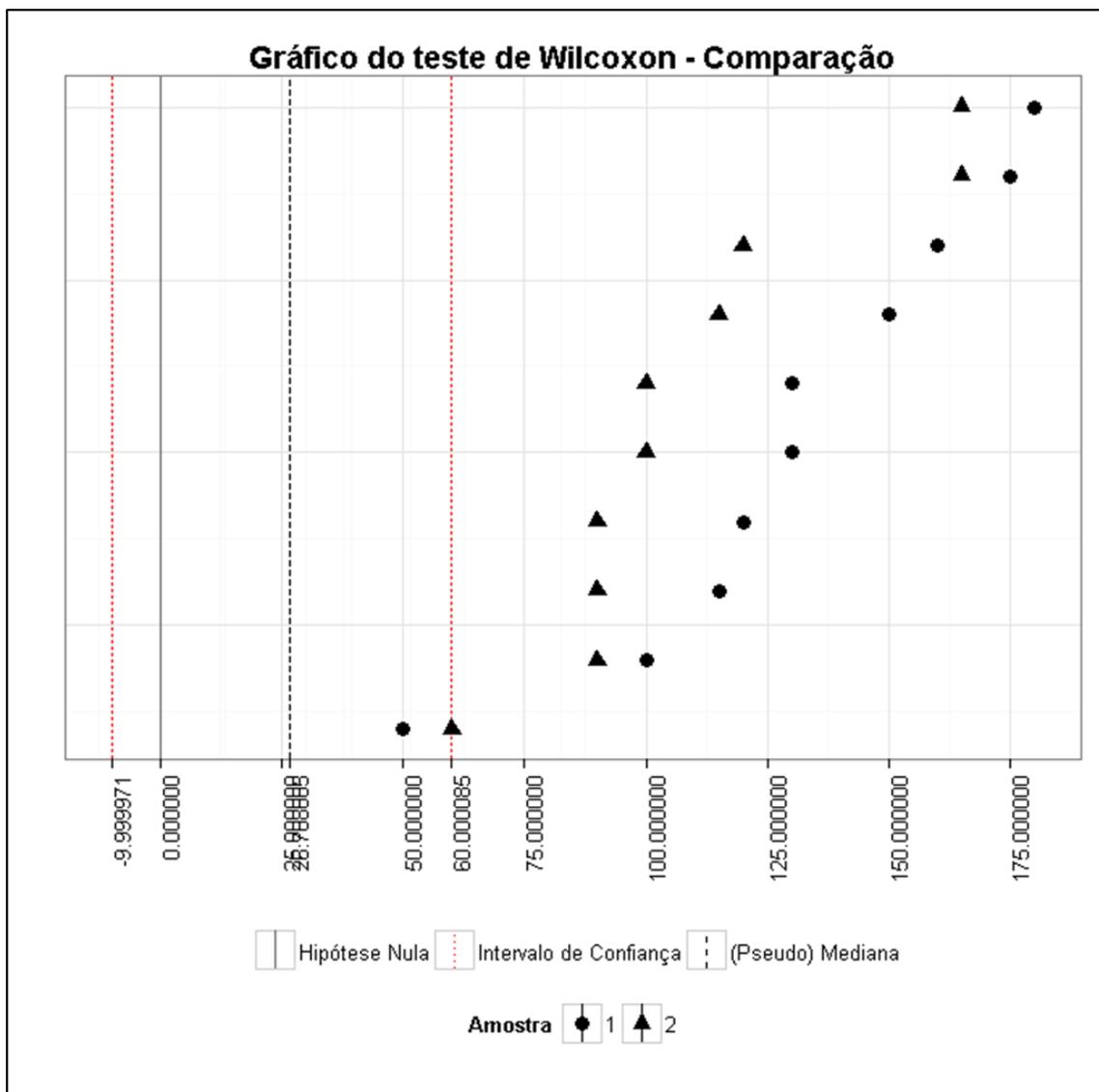
Teste Alcalinidade T2 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	87
P-valor	0,0056
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	10,00004805
(Pseudo) Mediana	74,99998955
Limite Superior	254,9999383
Nível de Confiança	0,95



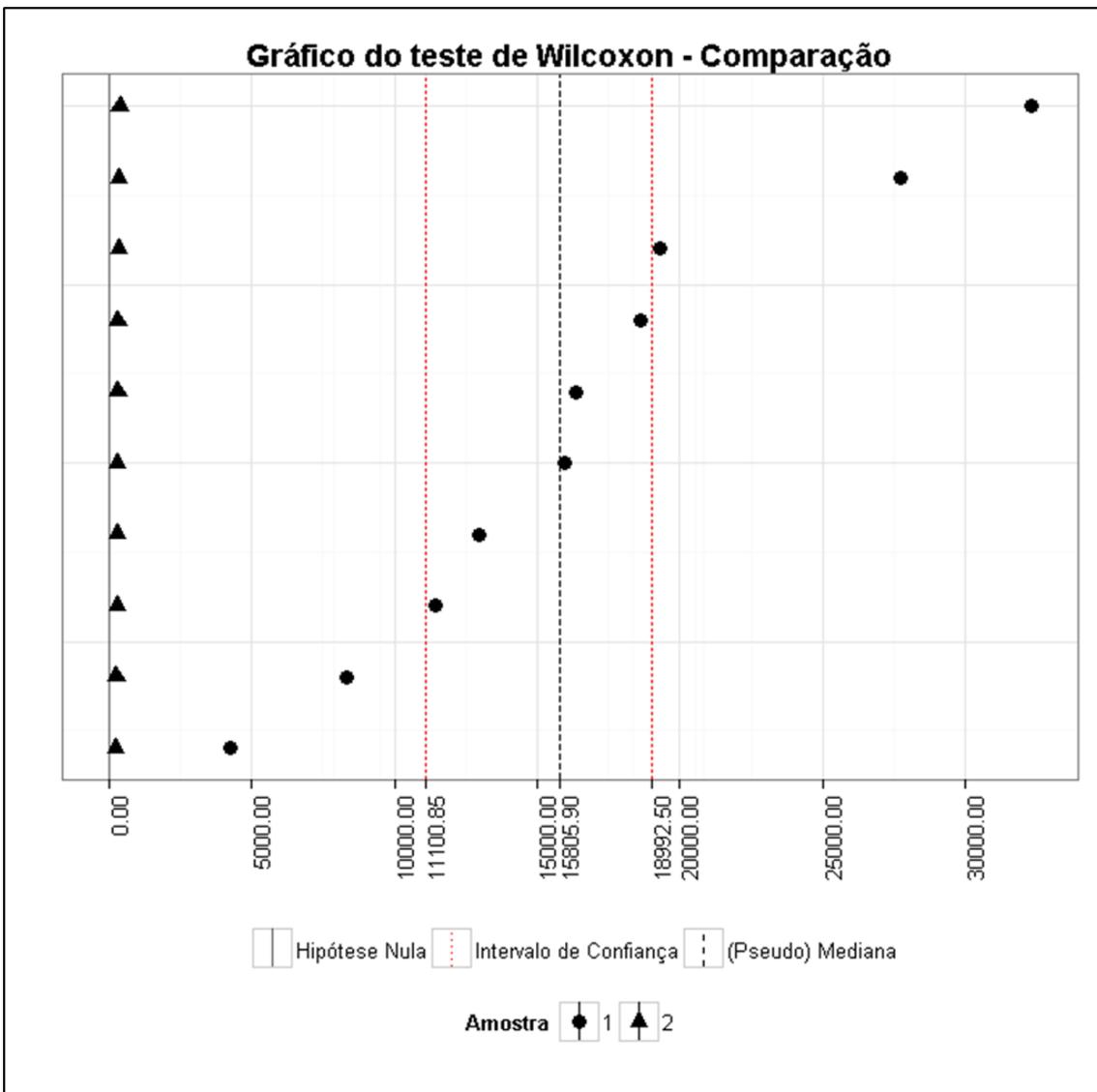
Teste Alcalinidade T3 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	71
P-valor	0,1195
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	-9,999970564
(Pseudo) Mediana	26,70800545
Limite Superior	60,00008484
Nível de Confiança	0,95



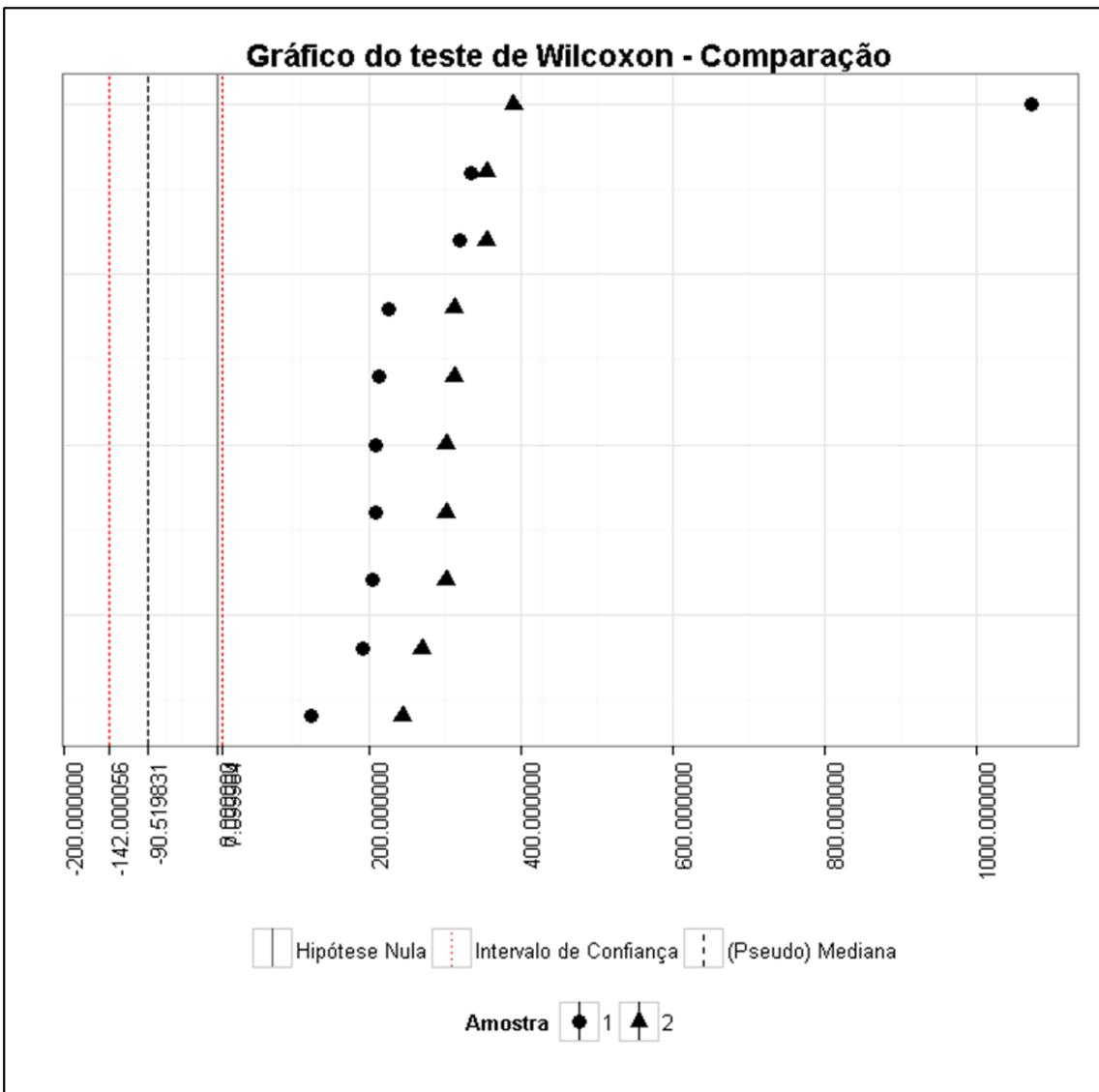
Teste Cloretos T1 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	100
P-valor	2,00E-04
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	11100,84999
(Pseudo) Mediana	15805,89661
Limite Superior	18992,49999
Nível de Confiança	0,95



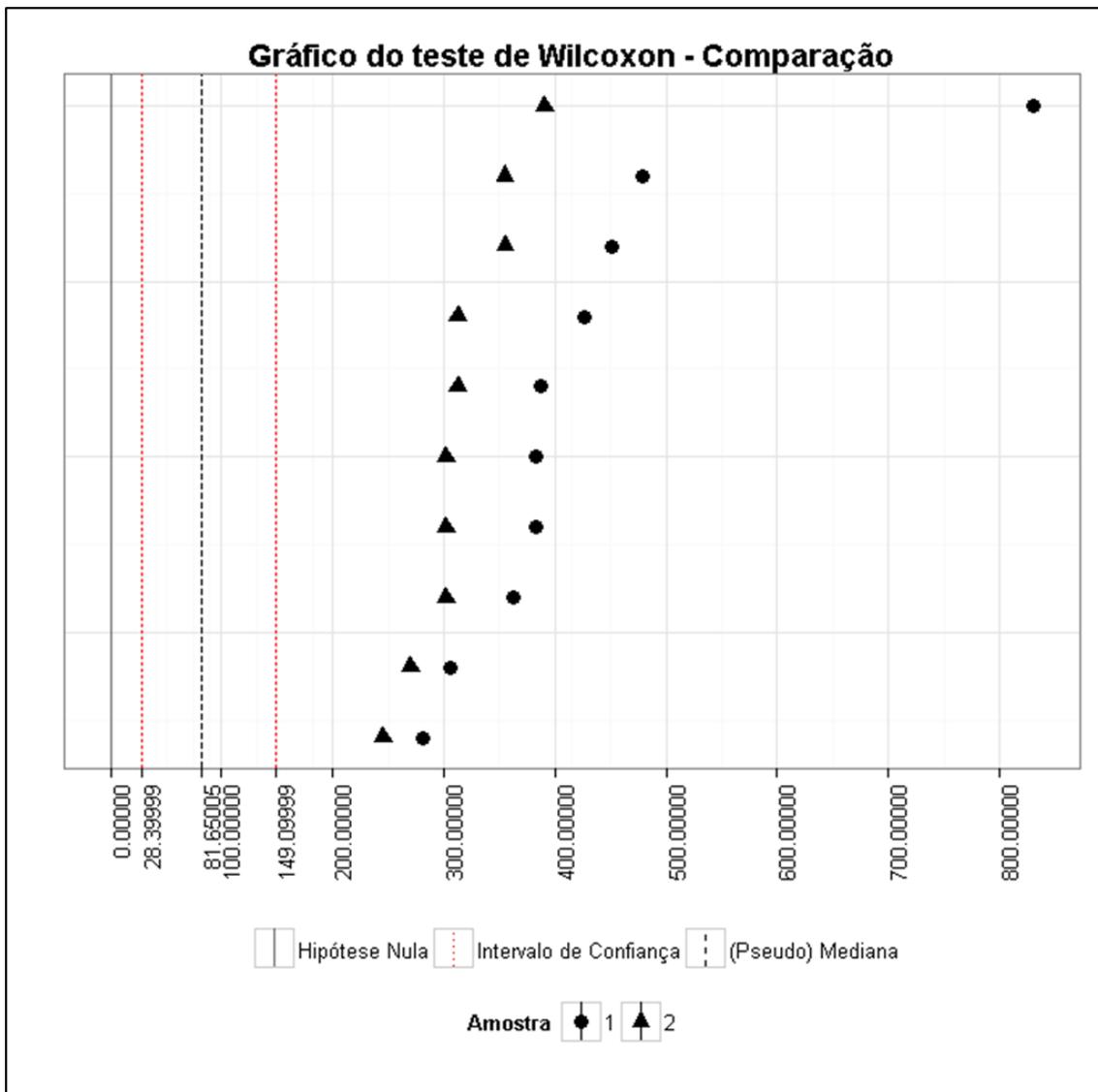
Teste Cloretos T2 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	24
P-valor	0,0533
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	-142,0000559
(Pseudo) Mediana	-90,51983072
Limite Superior	7,099984356
Nível de Confiança	0,95



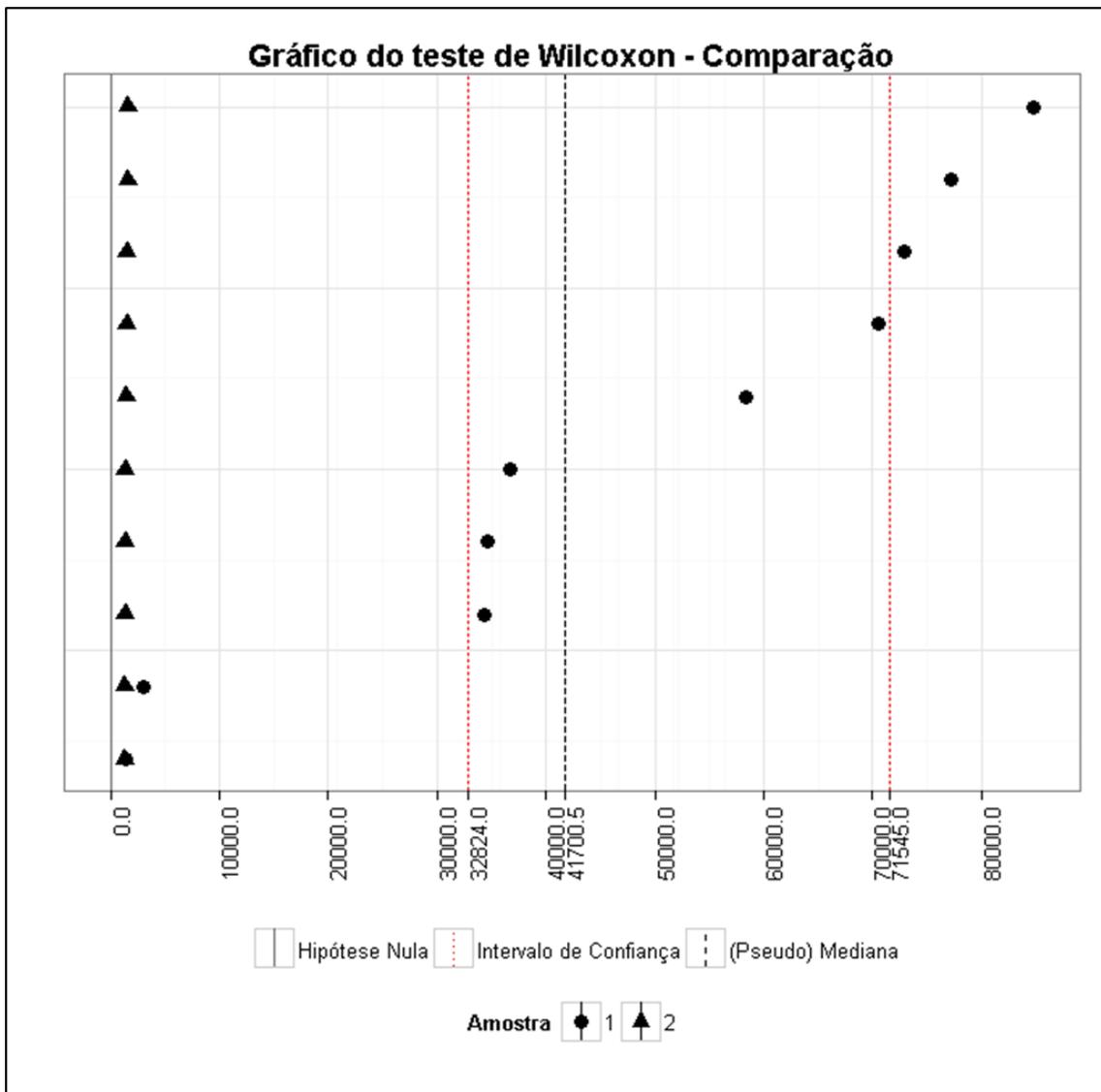
Teste Cloretos T3 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	83
P-valor	0,0138
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	28,39998704
(Pseudo) Mediana	81,65004592
Limite Superior	149,0999858
Nível de Confiança	0,95



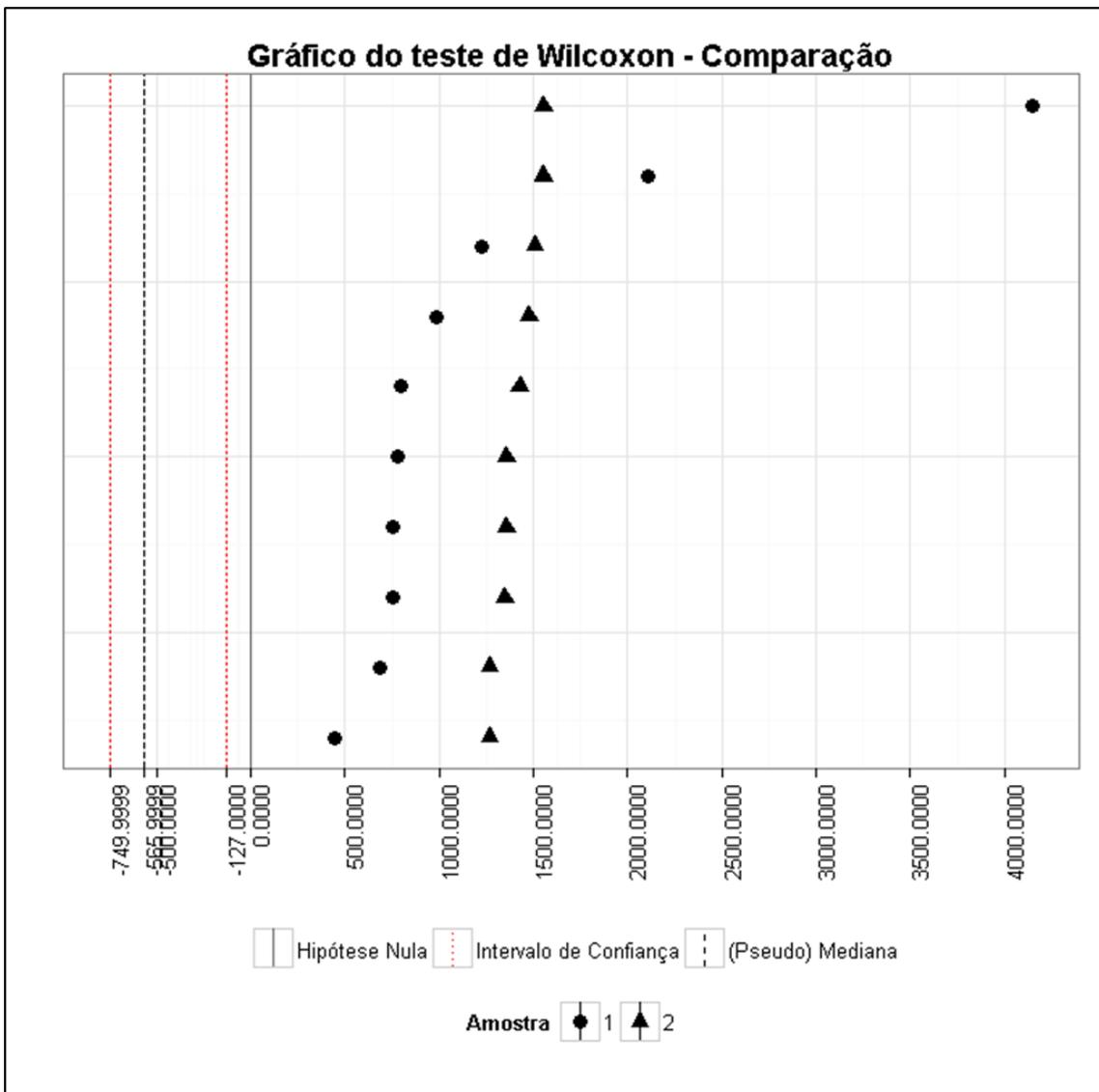
Teste Condutividade T1 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	95
P-valor	8,00E-04
Hipótese Nula	0
Limite Inferior (Pseudo) Mediana	32824,00005
Limite Superior	71545,00005
Nível de Confiança	0,95



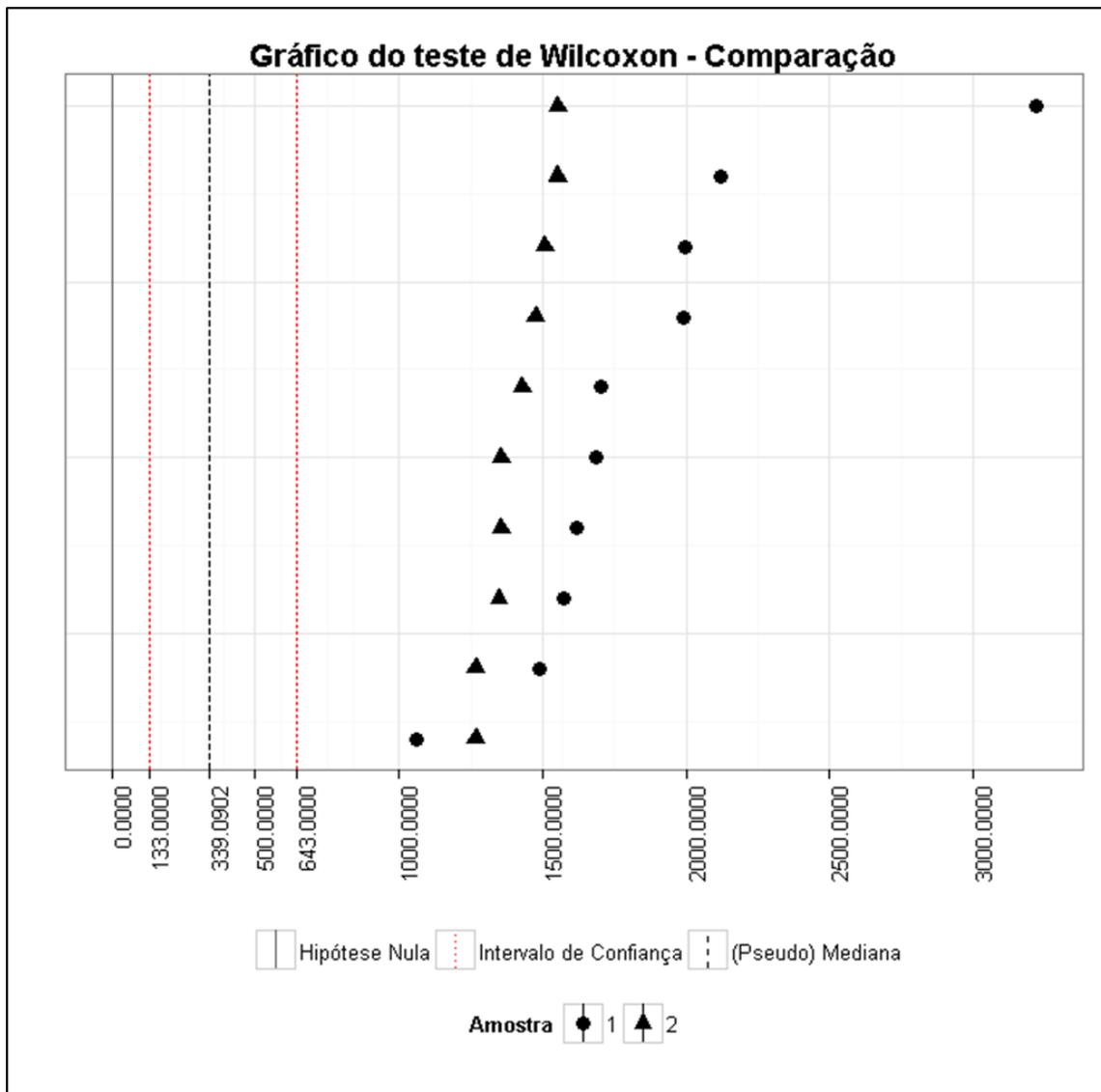
Teste Condutividade T2 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	20
P-valor	0,0256
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	-749,9999383
(Pseudo) Mediana	-565,9999473
Limite Superior	-126,9999539
Nível de Confiança	0,95



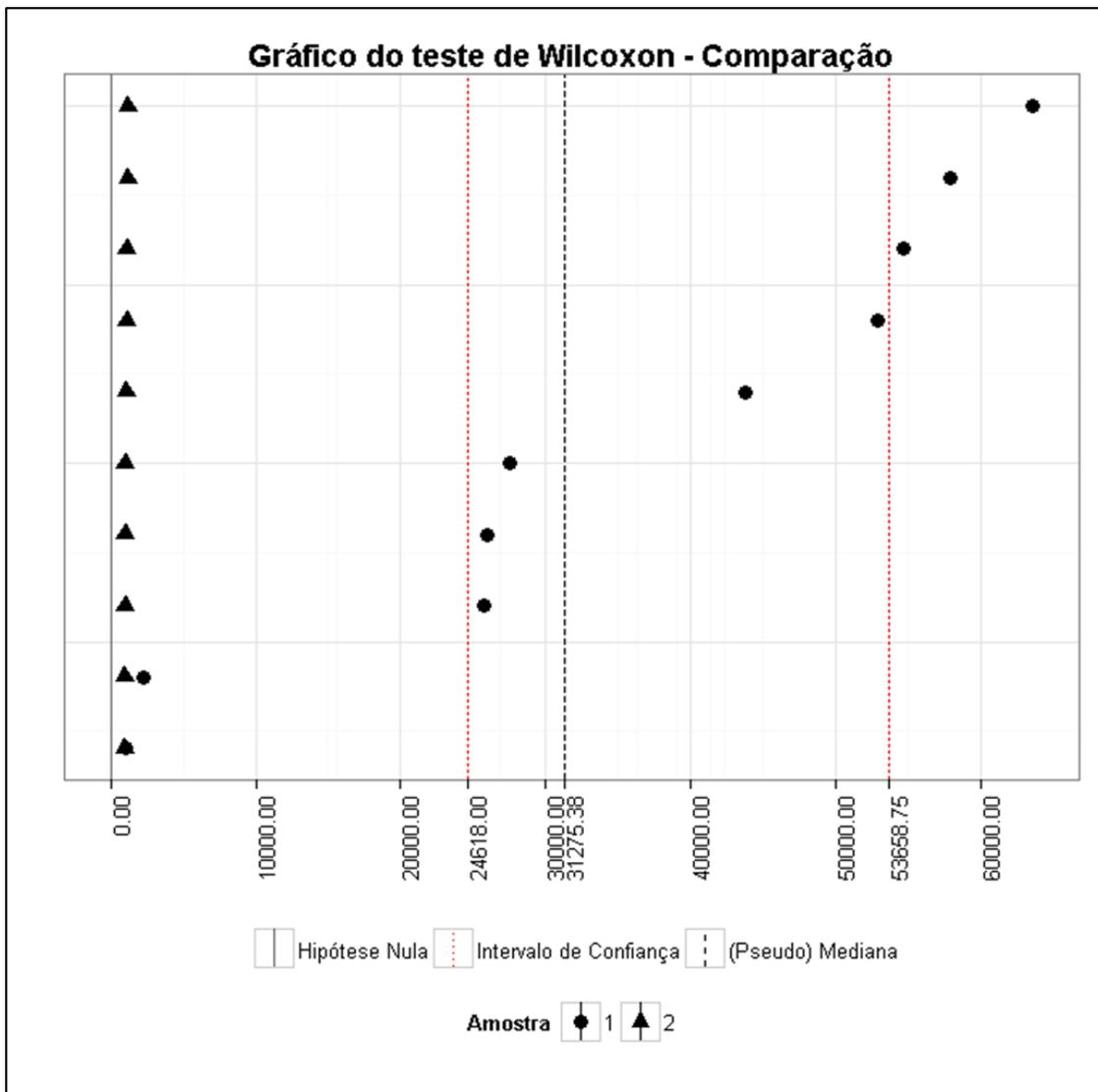
Teste Condutividade T3 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	87
P-valor	0,0057
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	133,0000329
(Pseudo) Mediana	339,0902105
Limite Superior	643,0000455
Nível de Confiança	0,95



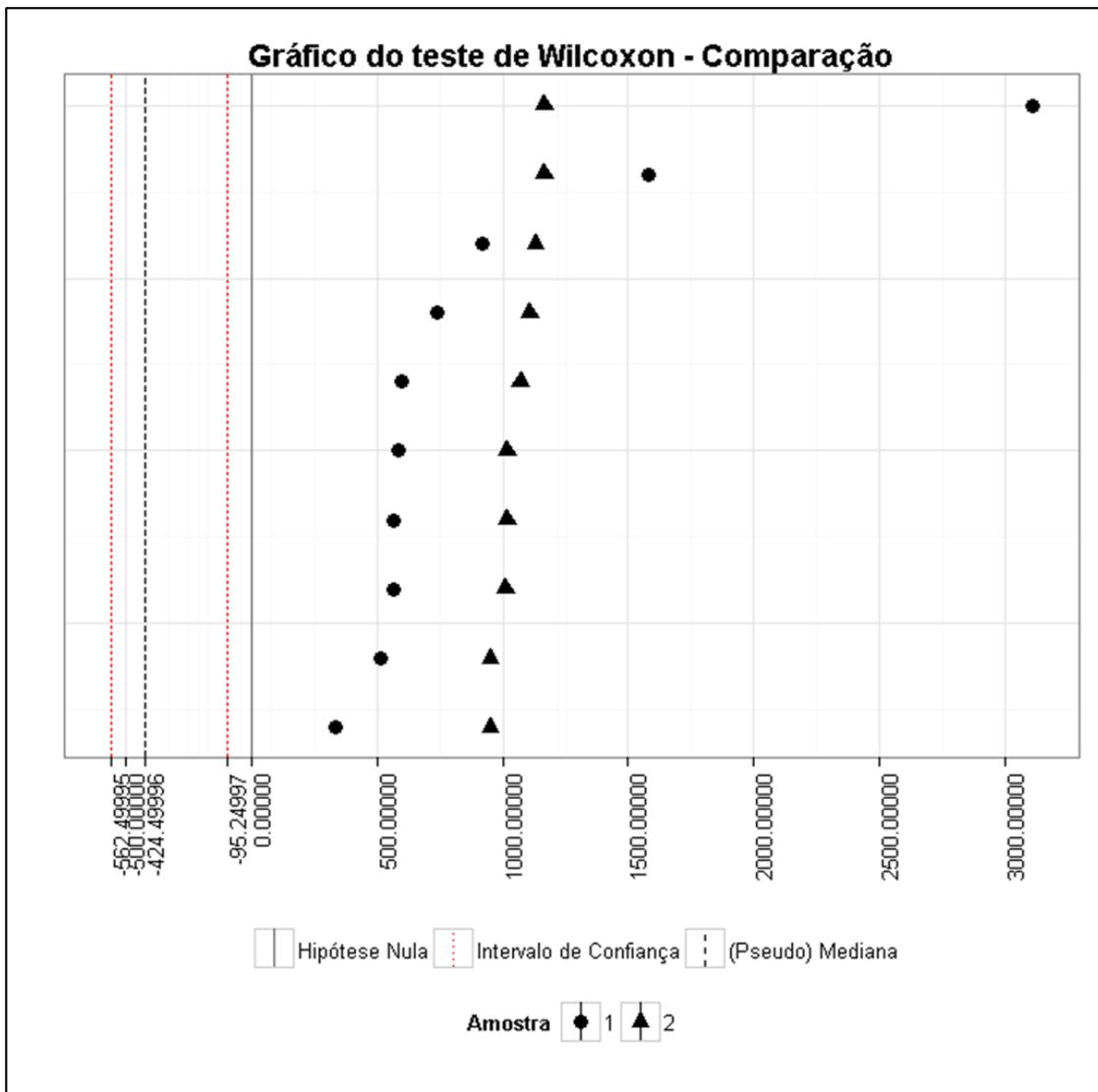
Teste S.T.D. T1 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	95
P-valor	8,00E-04
Hipótese Nula	0
Limite Inferior (Pseudo) Mediana	24618,00004
Limite Superior	53658,75004
Nível de Confiança	0,95



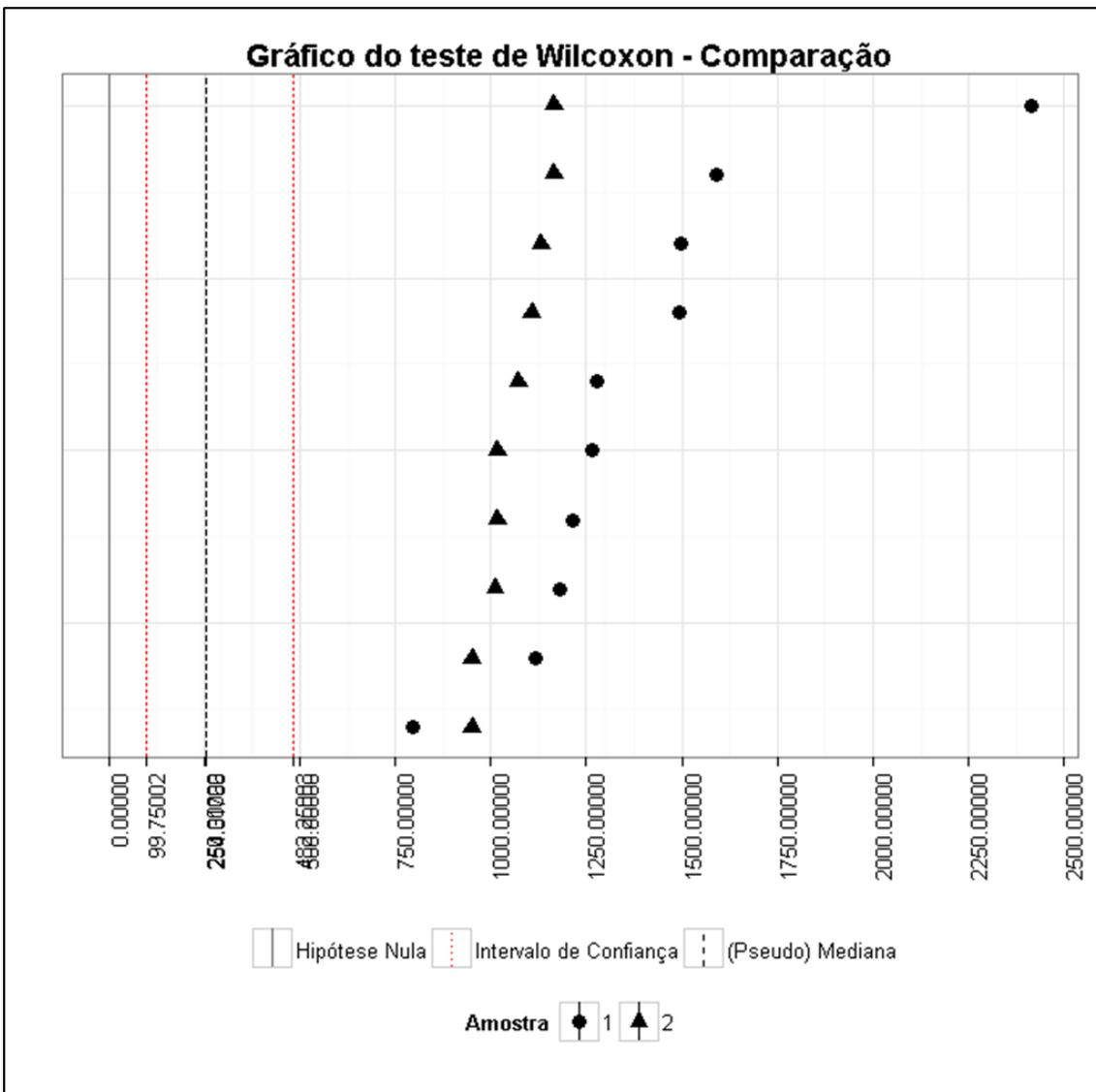
Teste S.T.D. T2 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	20
P-valor	0,0256
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	-562,4999537
(Pseudo) Mediana	-424,4999605
Limite Superior	-95,24996542
Nível de Confiança	0,95



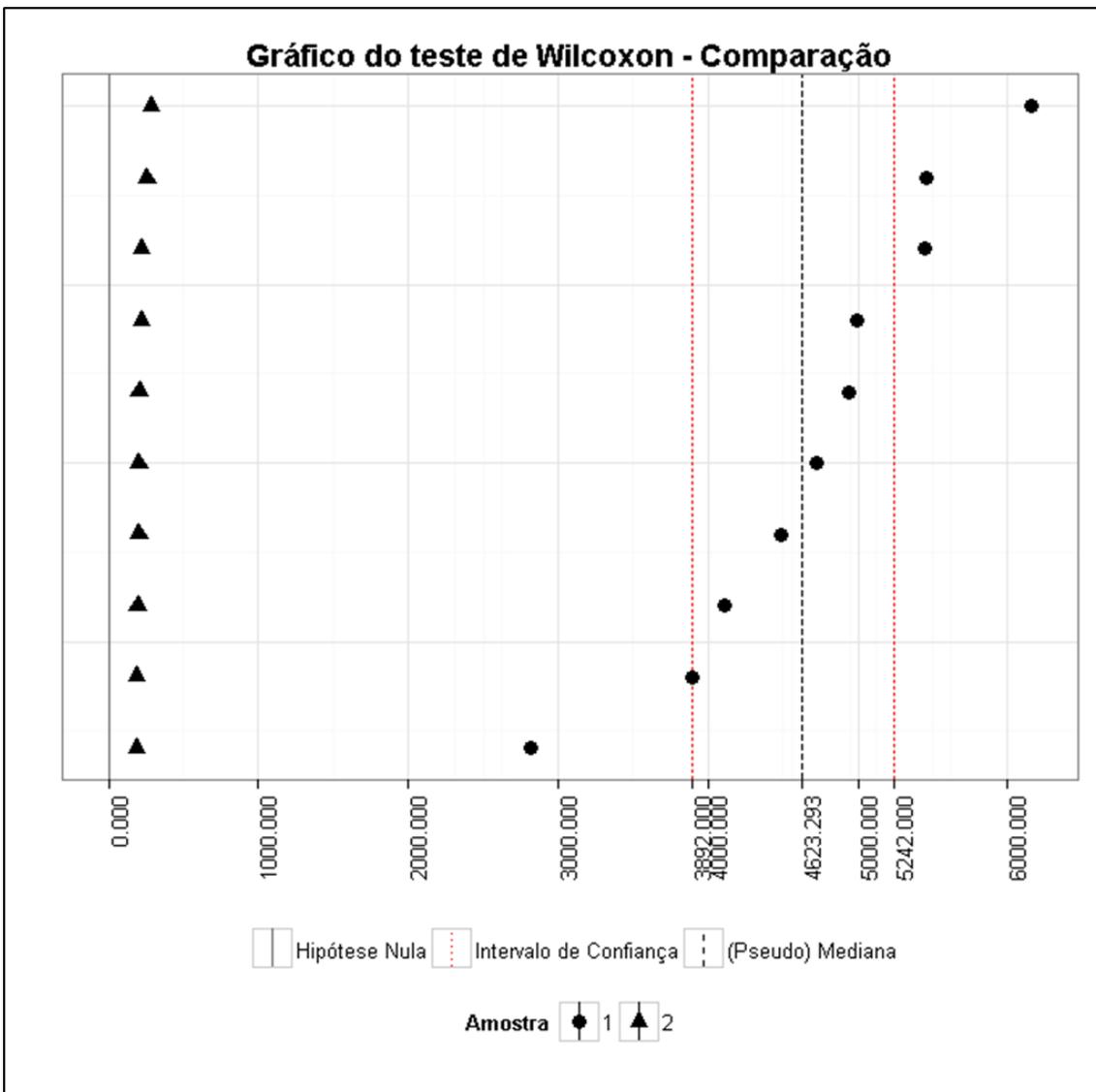
Teste S.T.D. T3 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	87
P-valor	0,0057
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	99,75002466
(Pseudo) Mediana	254,3176579
Limite Superior	482,2500341
Nível de Confiança	0,95



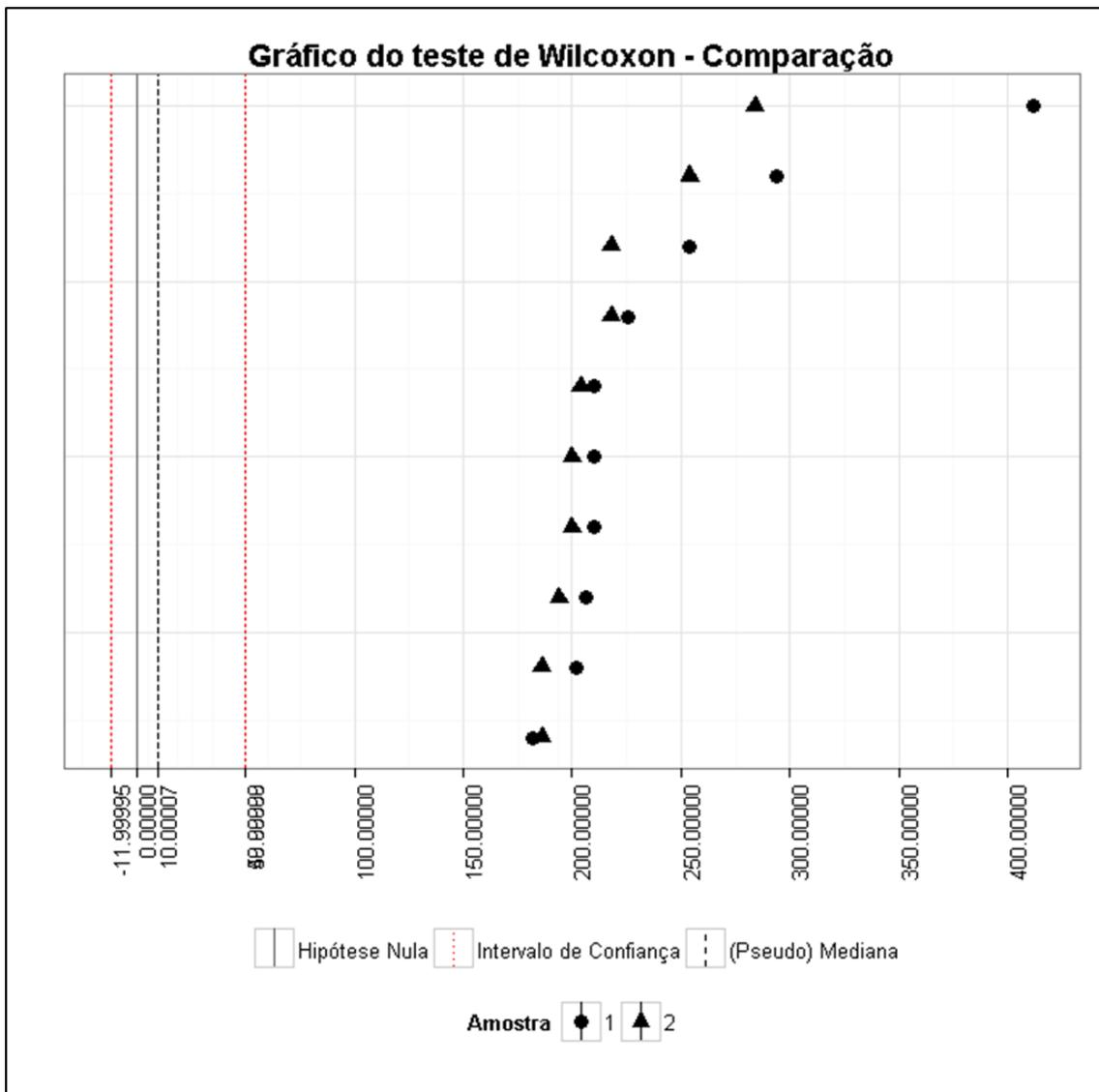
Teste Dureza T1 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	100
P-valor	2,00E-04
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	3892,000073
(Pseudo) Mediana	4623,29258
Limite Superior	5241,999927
Nível de Confiança	0,95



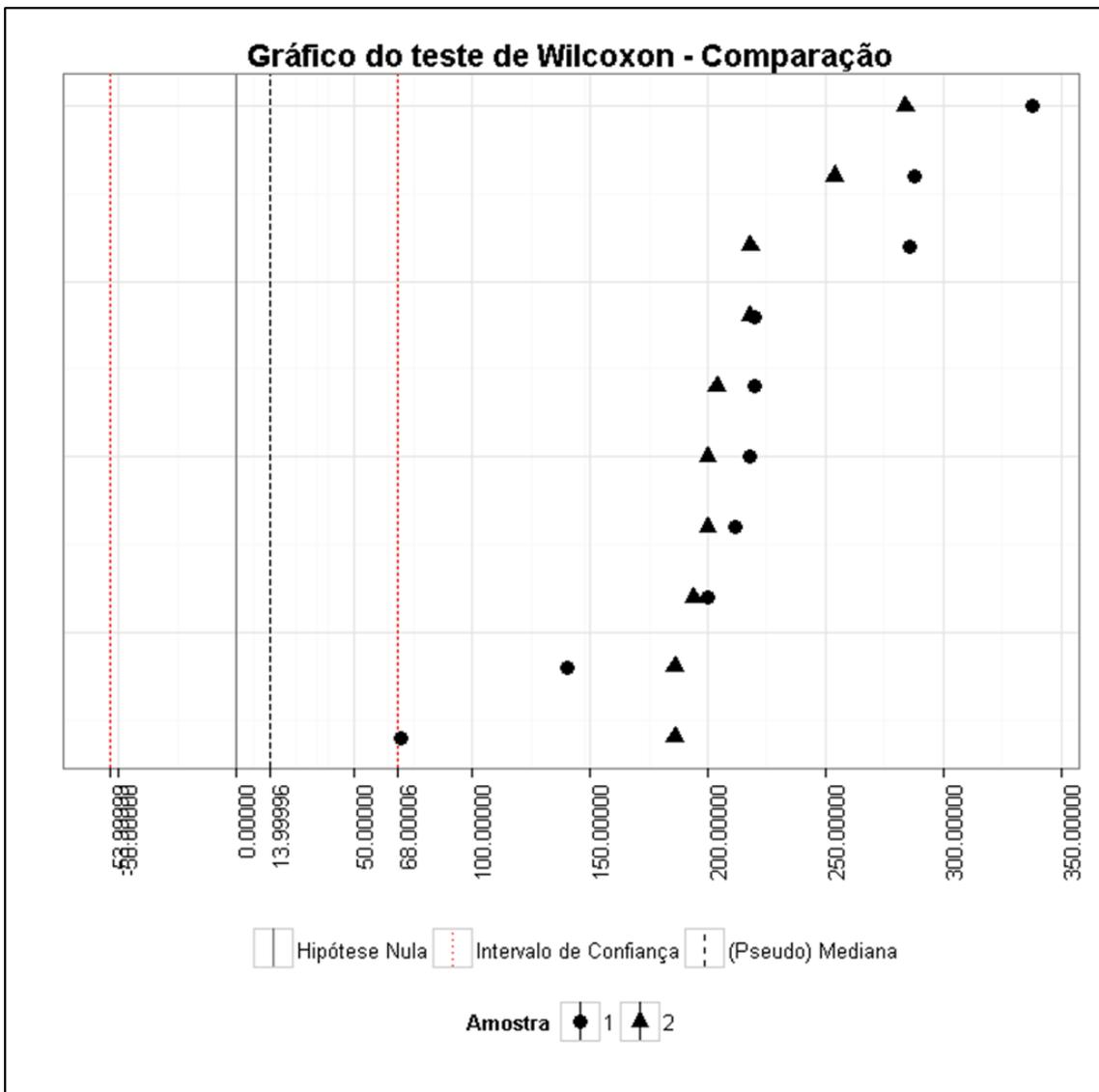
Teste Dureza T2 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	65,5
P-valor	0,2554
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	-11,9999536
(Pseudo) Mediana	10,00006631
Limite Superior	49,99999003
Nível de Confiança	0,95



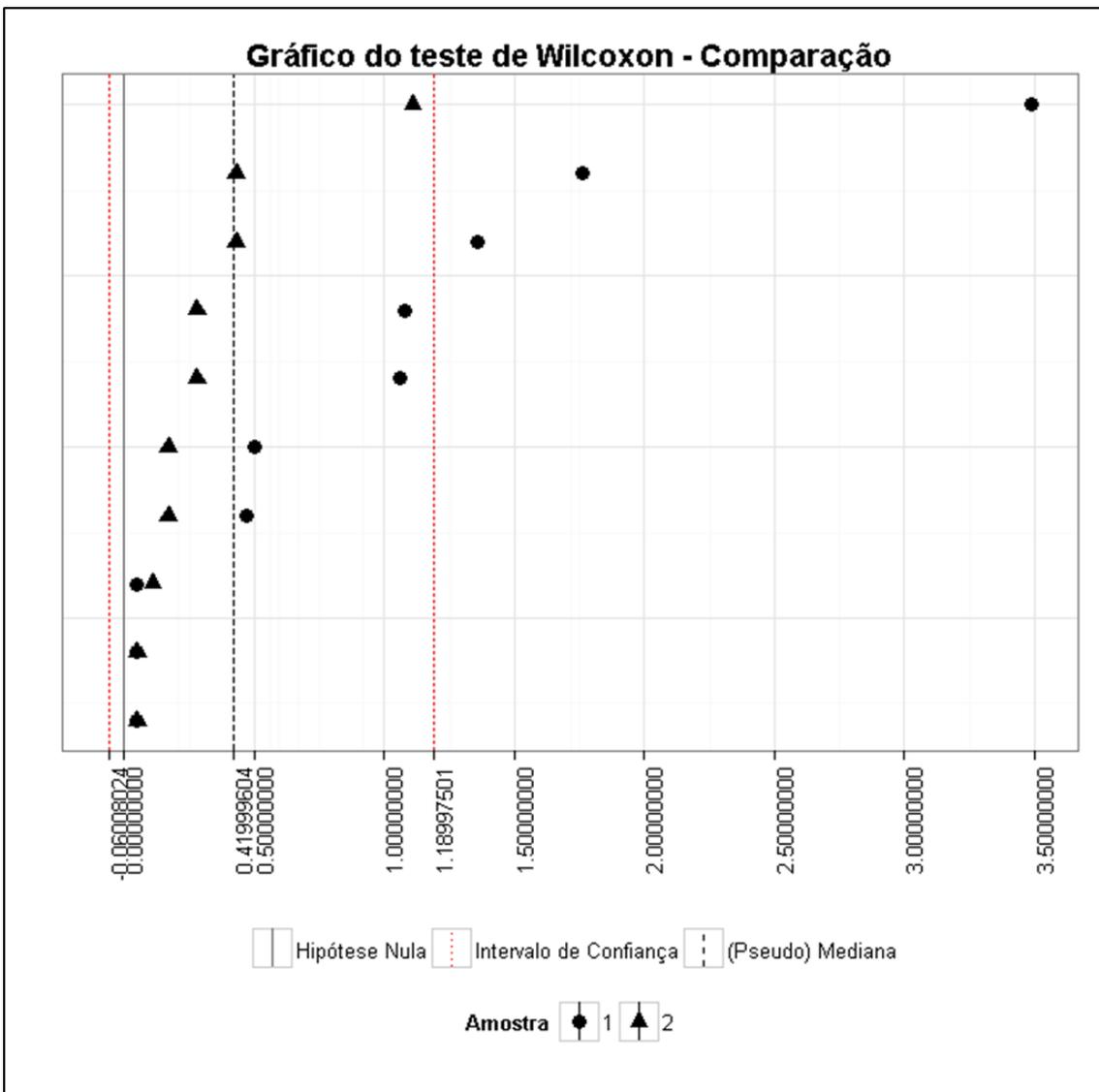
Teste Dureza T3 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	63
P-valor	0,3429
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	-53,99999056
(Pseudo) Mediana	13,99996491
Limite Superior	68,00006316
Nível de Confiança	0,95



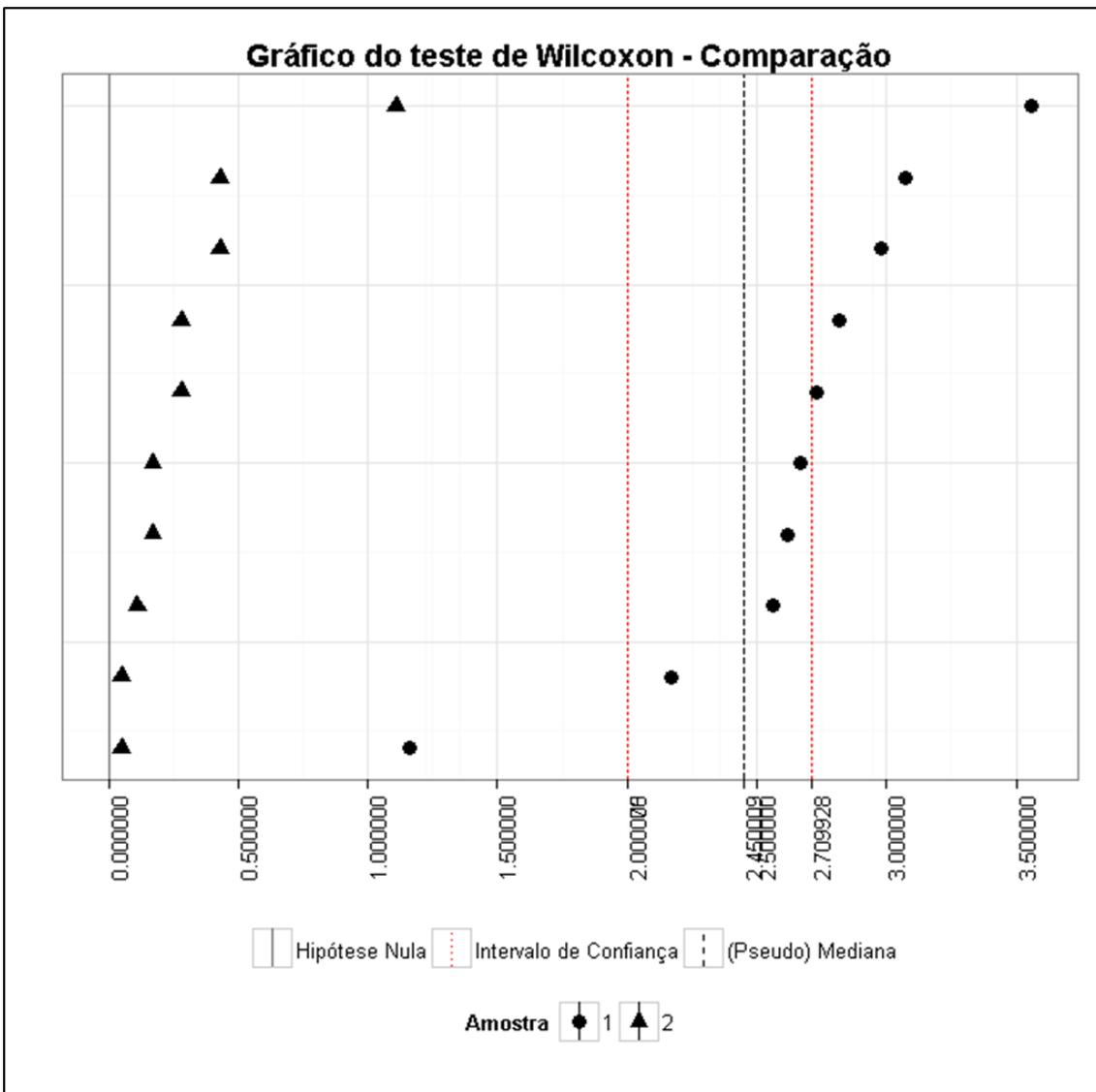
Teste Ferro T1 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	69
P-valor	0,1583
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	-0,060080241
(Pseudo) Mediana	0,419996036
Limite Superior	1,189975014
Nível de Confiança	0,95



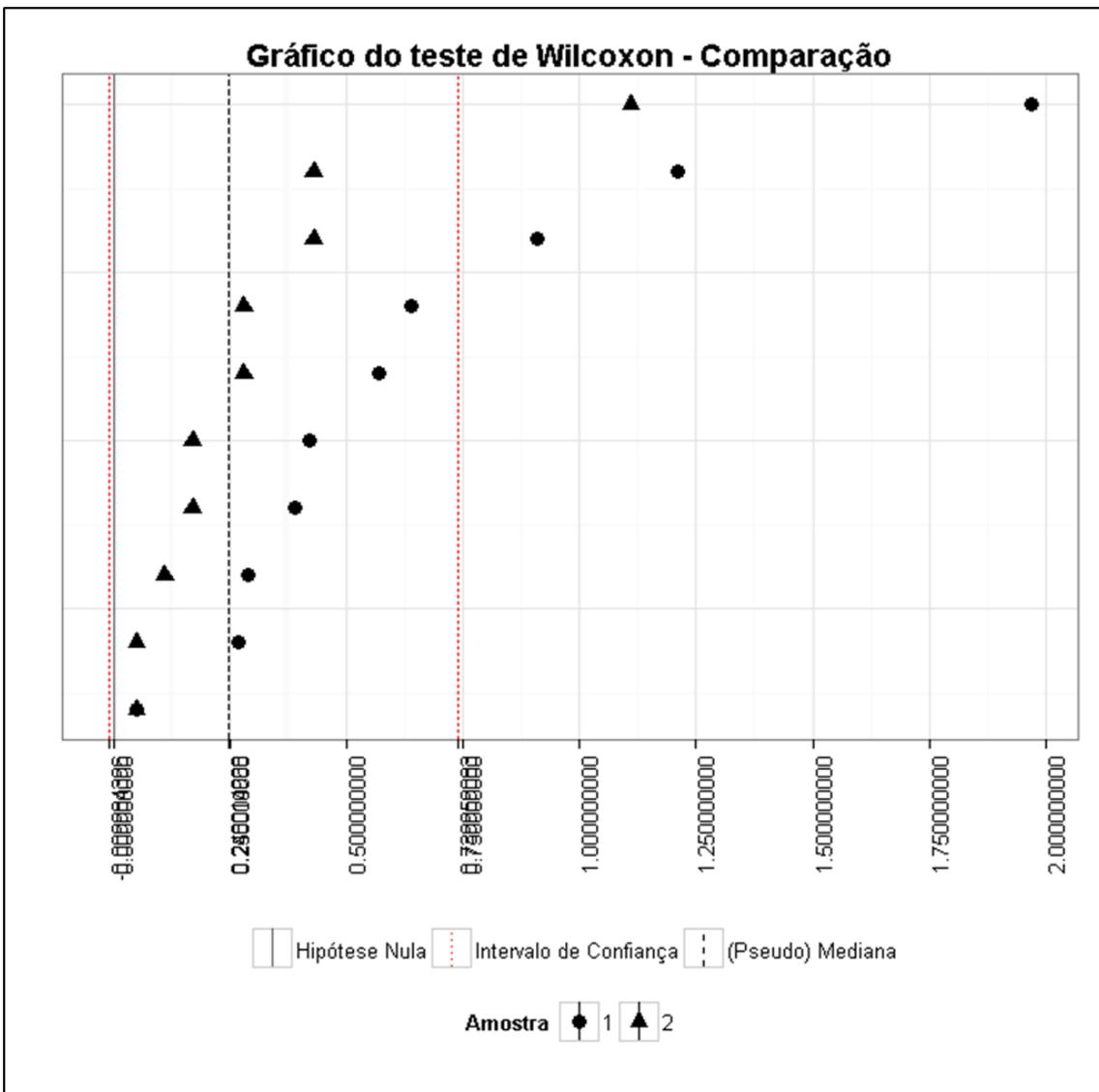
Teste Ferro T2 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	100
P-valor	2,00E-04
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	2,000075483
(Pseudo) Mediana	2,450009393
Limite Superior	2,709927517
Nível de Confiança	0,95



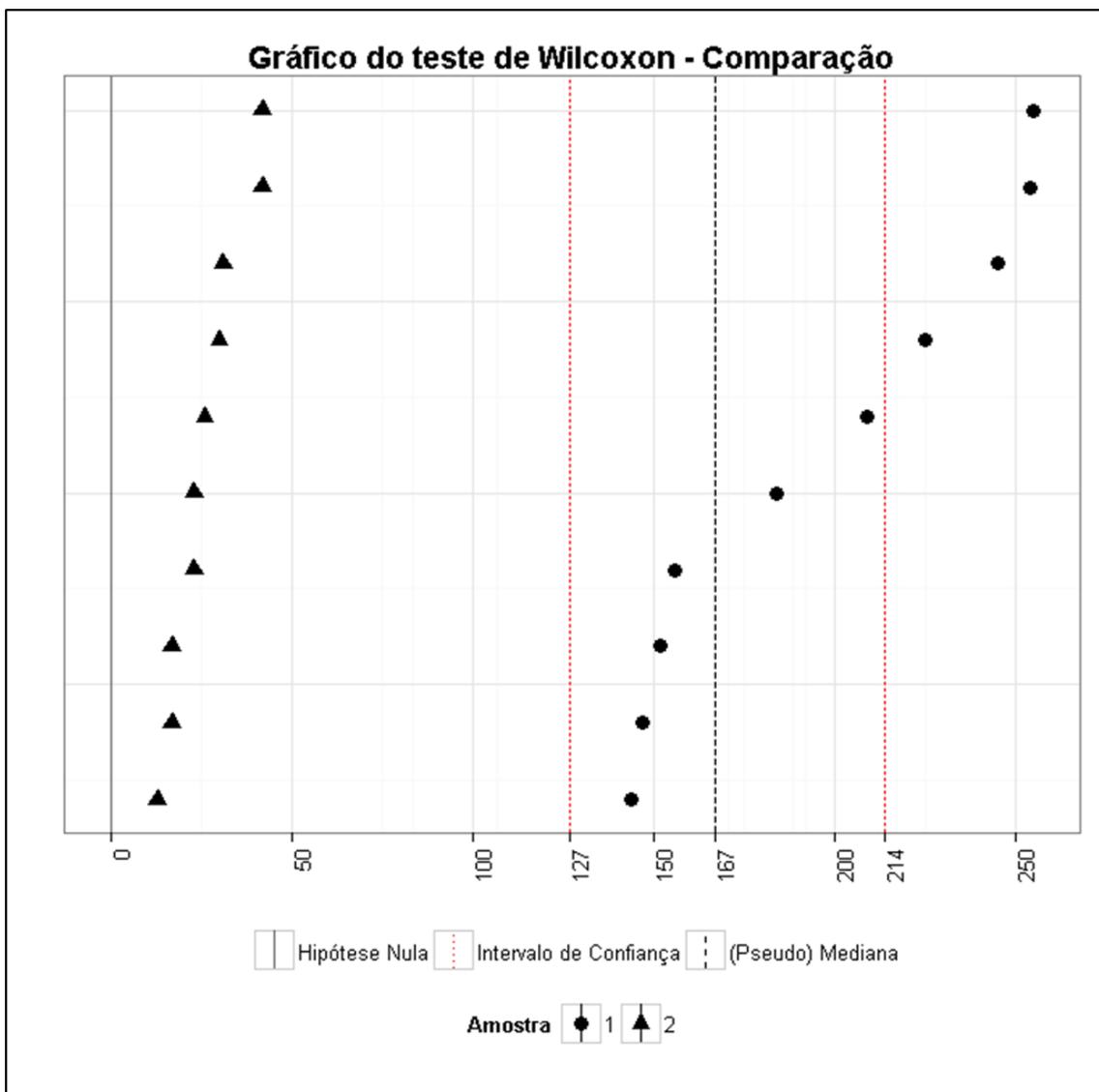
Teste Ferro T3 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	74
P-valor	0,0749
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	-0,009984396
(Pseudo) Mediana	0,248014968
Limite Superior	0,739959083
Nível de Confiança	0,95



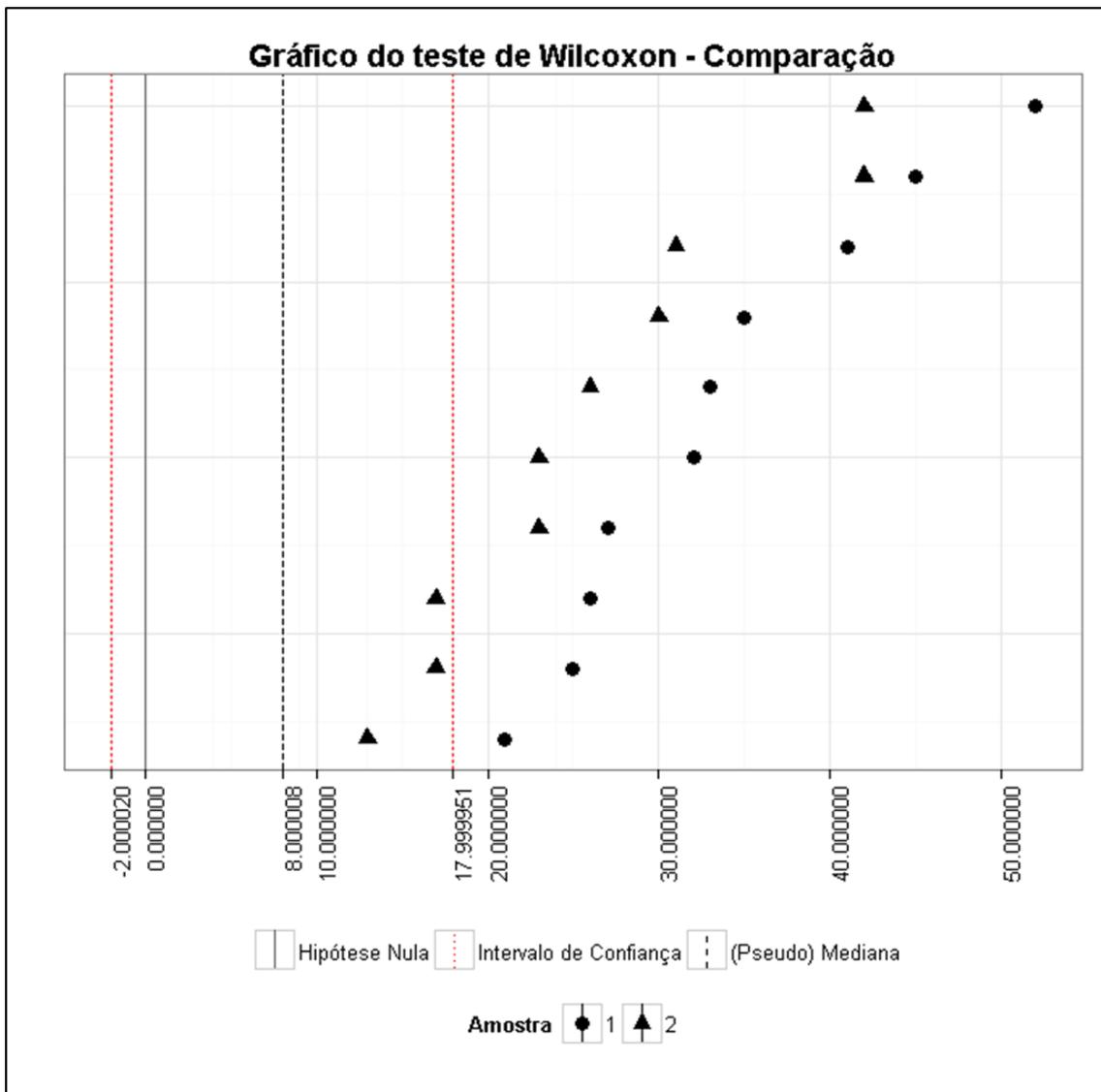
Teste Sílica T1 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	100
P-valor	2,00E-04
Hipótese Nula	0
Limite Inferior (Pseudo) Mediana	126,9999587
Limite Superior	213,9999805
Nível de Confiança	0,95



Teste Sílica T2 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	71,5
P-valor	0,1119
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	-2,000020468
(Pseudo) Mediana	8,00000847
Limite Superior	17,99995076
Nível de Confiança	0,95



Teste Sílica T3 X Reuso

Tabela da Estatística do Teste (Wilcoxon)	
Informações	Valores
Estatística	47,5
P-valor	0,8796
Hipótese Nula	0
Limite Inferior	-10,00008579
(Pseudo) Mediana	-1,000025164
Limite Superior	7,000020006
Nível de Confiança	0,95

