



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

IVAN JOSÉ ARY JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DA AÇÃO ANTIMICROBIANA DO CIMENTO PORTLAND (ACP)
E DO DESEMPENHO DO CONCRETO PRODUZIDO COM ESGOTO DOMÉSTICO
TRATADO E BRUTO.**

FORTALEZA

2018

IVAN JOSÉ ARY JÚNIOR

AVALIAÇÃO DA AÇÃO ANTIMICROBIANA DO CIMENTO PORTLAND (AAP) E
DO DESEMPENHO DO CONCRETO PRODUZIDO COM ESGOTO DOMÉSTICO
TRATADO E BRUTO.

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A1a Ary Júnior, Ivan José.
Avaliação da Ação Antimicrobiana do Cimento Portland (AACP) e do Desempenho do Concreto Produzido com Esgoto Doméstico Tratado e Bruto / Ivan José Ary Júnior. – 2018.
127 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota.

1. Reúso de água. 2. cimento. 3. ação antimicrobiano. 4. concreto. 5. efluentes. I. Título.

CDD 628

IVAN JOSÉ ARY JÚNIOR

AVALIAÇÃO DA AÇÃO ANTIMICROBIANA DO CIMENTO PORTLAND (AACP) E
DO DESEMPENHO DO CONCRETO PRODUZIDO COM ESGOTO DOMÉSTICO
TRATADO E BRUTO.

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota.

Tese Aprovada em: 27/07/2018.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof^a. Dra. Marisete Dantas de Aquino
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cley Anderson Silva de Freitas
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Eliezer Fares Abdala Neto
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS por me proporcionar a oportunidade de elaborar esse estudo.

Ao Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota, meu orientador, pela competência e dedicação em transmitir o conhecimento e a orientação fundamentais a efetivação deste trabalho.

Aos professores da Banca de Defesa que se disponibilizaram e contribuíram para o aperfeiçoamento do trabalho.

Agradeço a todos os professores, alunos e funcionários da Universidade Federal do Ceará – UFC, dos mais diversos Departamentos e Laboratórios, que estavam sempre disponíveis a ajudar e incentivar a elaboração desta pesquisa.

A todos profissionais do Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará - NUTEC e da Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE, que não mediram esforços para viabilizar os ensaios e sempre apoiaram essa pesquisa.

Agradeço todo apoio e suporte recebido da minha família.

Por fim, gostaria de agradecer e homenagear a aluna e amiga de doutorado Cláudia Germana Barbosa da Silva e ao meu professor e amigo Raimundo Oliveira de Souza, que Deus os levou ao seu convívio.

Muito Obrigado!

“A esperança tem duas filhas lindas, a indignação e a coragem; a indignação nos ensina a não aceitar as coisas como estão; a coragem, a muda-las.”

(Santo Agostinho)

RESUMO

A água é um bem imprescindível. Os sistemas ecológicos que existem na Terra dependem da água para manter a vida. O ser humano, pelo seu crescimento exponencial, vem causando a poluição da água doce disponível, a ponto de promover a sua escassez. O uso do esgoto doméstico tratado, pelas industriais de concreto, pode ser uma alternativa para poupar água de melhor qualidade ao consumo humano e evitar que esgotos sejam lançados no meio ambiente, promovendo vantagens ambientais e sociais. No entanto, para viabilizar o reuso de água na indústria, é fundamental assegurar a sanidade dos trabalhadores e a qualidade do concreto. Neste trabalho propõe-se avaliar o uso de esgoto doméstico tratado e bruto para produção de concreto, estudando a redução do risco do operador ao manuseá-lo. No presente estudo observou-se o decaimento da vida microbiana de forma expressiva, devido à presença de Ação Antimicrobiana no Cimento Portland - AACP. Sua presença reduziu significativamente a contagem de coliformes termotolerantes e bactérias heterotróficas do esgoto, indicando uma atividade antimicrobiana significativa, classificando-o como um sanitizante. Nos ensaios utilizando esgoto bruto, com o objetivo de testar o AACP em situação mais desfavorável, quando comparada ao uso do esgoto tratado, foram utilizados cimentos de diferentes tipos e fabricantes. Para todas as amostras foram obtidas reduções acima de 99% na contagem desses contaminantes microbiológicos. Nos ensaios, o AACP teve efeito antimicrobiano em um curto espaço de tempo, menor que 30 minutos, com atuação em amplo espectro, o que é fato relevante para a indústria do concreto. Estudou-se também o desempenho do concreto produzido com água potável, esgoto tratado e esgoto bruto provenientes de ETEs da região metropolitana de Fortaleza, Brasil. Foram feitos ensaios de resistência à compressão do concreto e *slump test*. Na resistência à compressão, os valores mantiveram-se equivalentes. Com os resultados dos *slump tests* foi constatado uma tendência de maior trabalhabilidade nos concretos fabricados com efluentes. Estes resultados apontam a viabilidade do seu uso na produção de concreto, obedecendo às normas vigentes na indústria da construção civil.

Palavras-Chave: Reúso de água, concreto, ação antimicrobiana, efluentes, cimento, indústria da construção civil, sanitizante.

ABSTRACT

Water is essential for life. The ecological systems that exist on Earth depend on water to sustain life. The exponential growth of the population, has been causing the pollution of available fresh water, to the point of promoting its scarcity. The use of treated domestic sewage by concrete manufacturers can be an alternative to save better quality water for human consumption and also prevent sewage from being released into the environment. This will promote environmental and social advantages. However, to ensure the reuse of water in industry, it is essential to take care of the workers' safety and the quality of concrete. This research proposes to evaluate the use of treated and raw domestic sewage for concrete production, studying the reduction of risks of when handling it. In the present study, the decay of microbial life was expressive, due to the presence of Antimicrobial Action in Portland Cement - AAPC. Its presence significantly reduced the count of thermotolerant coliforms and heterotrophic bacteria from the sewage, indicating a significant antimicrobial activity, classifying it as a sanitizer. Cements of different types and manufacturers were used in tests using raw sewage, in order to test the AAPC in a more unfavorable situation, when compared to the use of treated sewage. For all samples, reductions above 99% were obtained in the number of these microbiological contaminants. The AAPC had an antimicrobial effect in a short time, less than 30 minutes, with a broad spectrum, which is a relevant for the concrete industry. It was also studied the performance of the concrete produced with potable water, treated sewage and raw sewage from Sewage Treatment Plants of the metropolitan region of Fortaleza, Brazil. Concrete was tested for compressive strength and slump. For compressive strength, the values remained the same. The results of the slump tests have shown a trend towards greater workability for concretes manufactured with effluents. The results indicate the feasibility of its use in concrete production, observing the current standards of the construction industry.

Keywords: Reuse of water, concrete, antimicrobial agent, effluents, cement, construction industry, sanitizing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -	Risco geral de água 2012	26
Figura 2.2 -	Risco geral de água no Brasil 2012.....	27
Figura 2.3 -	Mudança projetada na demanda de água com base em 2010 para o período de 2030 a 2050.....	27
Figura 3.1 -	Procedimentos para as análises microbiológicas. Becker um com cimento/AACI e outro vazio. Os dois receberam 100mL de esgoto bruto, para serem avaliados no tempo 30 min. Fortaleza, Ceará. 2017.....	65
Figura 3.2 -	Procedimentos para as análises microbiológicas. Becker sem cimento/AACI, recebeu 100 mL de esgoto bruto e ficou sendo agitado pelo tempo de 30 min. Fortaleza, Ceará. 2017.	65
Figura 3.3 -	Procedimentos para as análises microbiológicas. Becker com cimento/AACI, recebeu 100 mL de esgoto bruto e ficou sendo agitado pelo tempo de 30 min. Fortaleza, Ceará. 2017.	66
Figura 3.4 -	Procedimentos para as análises microbiológicas. Becker com cimento/AACI, recebeu 100 mL de esgoto bruto e ficou sendo agitado pelo tempo de 30 min. Fortaleza, Ceará. 2017.	66
Figura 3.5 -	Detalhes dos procedimentos para as análises microbiológicas. (a) Peptonada esgoto bruto misturado ao AACP; (b) A mistura transferida aos tubos de ensaio; (c) Mistura com AACP homogeneizada. Fortaleza, Ceará. 2017.....	68
Figura 3.6 -	Detalhes dos procedimentos para as análises microbiológicas. (a) Placa inoculada; (b) Colocação meio de ágar padrão para contagem PCA; (c) Colocação meio de ágar padrão para contagem PCA. Fortaleza, Ceará. 2017.	69
Figura 3.7 -	Tubo Durhan - (a) Esgoto bruto com coliformes termotolerantes confirmados pela produção de gás, (b) Esgoto bruto não há produção de gás, indicando ausência de microrganismos. Fortaleza, Ceará. 2017.	71
Figura 3.8 -	Placas inoculadas (técnicas do “Pourplate”) com esgoto bruto; (a) placa com incontáveis colônias de bactérias; (b) placa onde não desenvolveram colônias. Fortaleza, Ceará. 2017.	72
Figura 3.9 -	Lagoa de estabilização ETE 2. Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. 2017	73
Figura 3.10 -	Lagoa de estabilização ETE 3. Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará 2017	73
Figura 3.11 -	Lagoa de estabilização ETE 4. Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. 2017	74
Figura 3.12 -	Lagoa de estabilização ETE 6. Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. 2017	74
Figura 3.13 -	Ensaio de abatimento de tronco de cone ou slump test. 2017. Laboratório de Materiais da UFC. Fortaleza, Ceará. 2017.....	78
Figura 3.14 -	Moldagem de três grupos de dez corpos de prova. Laboratório de Materiais da UFC. Fortaleza, Ceará. 2017.....	79

Figura 3.15 - Equipamentos utilizados no ensaio de rompimento à compressão. Laboratório de Materiais da UFC. Fortaleza, Ceará. 2017.....	79
Figura 4.1 - Detalhes dos tubo de Durhan para esgoto bruto na diluição de 1×10^{-1} : (a) Sem AACCP, tempo zero; (b) Sem AACCP, 30 min.; (c) Com AACCP, 30 min. Fortaleza, Ceará. 2018.	84
Figura 4.2 - Detalhes dos tubo de Durhan para esgoto bruto na diluição de 1×10^{-2} : (a) Sem AACCP, tempo zero; (b) Sem AACCP, 30 min.; (c) Com AACCP, 30 min. Fortaleza, Ceará. 2018.	84
Figura 4.3 - Detalhes dos tubo de Durhan para esgoto bruto na diluição de 1×10^{-3} : (a) Sem AACCP, tempo zero; (b) Sem AACCP, 30 min.; (c) Com AACCP, 30 min. Fortaleza, Ceará. 2018.	85
Figura 4.4 - Detalhes dos tubo de Durhan para esgoto bruto na diluição de 1×10^{-4} : (a) Sem AACCP, tempo zero; (b) Sem AACCP, 30 min.; (c) Com AACCP, 30 min. Fortaleza, Ceará. 2018.	85
Figura 4.5 - Placa com culturas das três águas nas quatro diluições. Fortaleza, Ceará. 2018.	91
Figura 4.6 - Placas com culturas do esgoto bruto, tempo zero, sem AACCP, nas quatro diluições. Fortaleza, Ceará. 2018.....	92
Figura 4.7 - Placas com culturas do esgoto bruto, tempo 30 min, sem AACCP, nas quatro diluições. Fortaleza, Ceará. 2018.....	92
Figura 4.8 - Placas com culturas do esgoto bruto, tempo 30 min, com AACCP, nas quatro diluições. Fortaleza, Ceará. 2018.....	93
Figura 4.9 - Placas com culturas dos três tipos de esgoto bruto na mesma diluição (10^{-1}): (a) Sem AACCP, tempo zero; (b) Sem AACCP, 30 min.; (c) Com AACCP, 30 min. Fortaleza, Ceará. 2018.	93
Figura 4.10 - Placas com culturas dos três tipos de esgoto na mesma diluição (10^{-2}): (a) Sem AACCP, tempo zero; (b) Sem AACCP, 30 min.; (c) Com AACCP, 30 min. Fortaleza, Ceará. 2018.	93
Figura 4.11 - Placas com culturas dos três tipos de esgoto na mesma diluição (10^{-3}): (a) Sem AACCP, tempo zero; (b) Sem AACCP, 30 min.; (c) Com AACCP, 30 min. Fortaleza, Ceará. 2018.	94
Figura 4.12 - Placas com culturas dos três tipos de esgoto na mesma diluição (10^{-4}): (a) Sem AACCP, tempo zero; (b) Sem AACCP, 30 min.; (c) Com AACCP, 30 min. Fortaleza, Ceará.2018.	94

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Resultados do abatimento de tronco de cone ou slump test. Fortaleza, Ceará. 2017.....	97
Gráfico 4.2 - Resistência à compressão aos 7 dias para a água de abastecimento público, esgoto tratado e esgoto bruto da EPC e das ETES. Fortaleza, Ceará. 2017...	101
Gráfico 4.3 - Resistência à compressão aos 28 dias para a água de abastecimento público, esgoto tratado e esgoto bruto da EPC e das ETES. Fortaleza, Ceará. 2017....	102
Gráfico 4.4 - Resistência à compressão aos 120 dias calculada por meio das curvas de regressão logarítmicas para a água de abastecimento público, esgoto tratado e esgoto bruto da EPC e das ETES. Fortaleza, Ceará. 2017.	102
Gráfico 4.5 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da EPC - Água de Abastecimento Público. Fortaleza, Ceará. 2017.	103
Gráfico 4.6 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da EPC - Esgoto Tratado. Fortaleza, Ceará. 2017.	103
Gráfico 4.7 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da EPC - Esgoto Bruto. Fortaleza, Ceará. 2017.	104
Gráfico 4.8 - Comparativo dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da EPC com os três tipos de efluentes. Fortaleza, Ceará. 2017.	104
Gráfico 4.9 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 2 - Água de Abastecimento Público. Fortaleza, Ceará. 2017.	104
Gráfico 4.10 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 2 - Esgoto Tratado. Fortaleza, Ceará. 2017.	105
Gráfico 4.11 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 2 - Esgoto Bruto. Fortaleza, Ceará. 2017.	105
Gráfico 4.12 - Comparativo dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 2 com os três tipos de efluentes. Fortaleza, Ceará. 2017.	105
Gráfico 4.13 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 3 - Água de Abastecimento Público. Fortaleza, Ceará. 2017.	106
Gráfico 4.14 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 3 - Esgoto Tratado. Fortaleza, Ceará. 2017.	106

Gráfico 4.15 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 3 - Esgoto Bruto. Fortaleza, Ceará. 2017.	106
Gráfico 4.16 - Comparativo dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 3 com os três tipos de efluentes. 2017.	107
Gráfico 4.17 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 4 - Água de Abastecimento Público. 2017.	107
Gráfico 4.18 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 4 - Esgoto Tratado. Fortaleza, Ceará. 2017.	107
Gráfico 4.19 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 4 - Esgoto Bruto. Fortaleza, Ceará. 2017.	108
Gráfico 4.20 - Comparativo dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 4 com os três tipos de efluentes. 2017.	108
Gráfico 4.21 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 5 - Água de Abastecimento Público. 2017.	108
Gráfico 4.22 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 5 - Esgoto Tratado. Fortaleza, Ceará. 2017.	109
Gráfico 4.23 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 5 - Esgoto Bruto. Fortaleza, Ceará. 2017.	109
Gráfico 4.24 - Comparativo dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 5 com os três tipos de efluentes. Fortaleza, Ceará. 2017.	109
Gráfico 4.25 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 6 - Água de Abastecimento Público. Fortaleza, Ceará. 2017.	110
Gráfico 4.26 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 6 - Esgoto Tratado. Fortaleza, Ceará. 2017.	110
Gráfico 4.27 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 6 - Esgoto Bruto. Fortaleza, Ceará. 2017.	110
Gráfico 4.28 - Comparativo dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 6 com os três tipos de efluentes. Fortaleza, Ceará. 2017.	111
Gráfico 4.29 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 7 - Água de Abastecimento Público. Fortaleza, Ceará. 2017.	111

Gráfico 4.30 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 7 - Esgoto Tratado. Fortaleza, Ceará. 2017.	111
Gráfico 4.31 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 7 - Esgoto Bruto. Fortaleza, Ceará. 2017.	112
Gráfico 4.32 - Comparativo dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 7 com os três tipos de efluentes. Fortaleza, Ceará. 2017.	112
Gráfico 4.33 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 8 - Água de Abastecimento Público. Fortaleza, Ceará. 2017.	112
Gráfico 4.34 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 8 - Esgoto Tratado. Fortaleza, Ceará. 2017.	113
Gráfico 4.35 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 8 - Esgoto Bruto. Fortaleza, Ceará. 2017.	113
Gráfico 4.36 - Comparativo dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 8 com os três tipos de efluentes. 2017.	113

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - O cimento Portland comum na NBR 16697, exigências químicas e de composição.	46
Quadro 2.2 - O cimento Portland comum na NBR 16697, exigências químicas e limites de composição.	47
Quadro 2.3 - O cimento Portland comum na NBR 16697, exigências características.....	47
Quadro 2.4 - O cimento Portland comum na NBR 16697, exigências facultativas	47
Quadro 2.5 - O cimento Portland composto o aglomerante hidráulico, componentes, NBR 16697.....	48
Quadro 2.6 - O cimento Portland composto limites químicos, NBR 16697.....	48
Quadro 2.7 - O cimento Portland composto características e limites de classes, NBR 16697	49
Quadro 2.8 - O cimento Portland composto características e limites facultativos, NBR 16697	49
Quadro 2.9 - O cimento Portland de alto-forno componentes, NBR 16697	49
Quadro 2.10 - O cimento Portland de alto-forno componentes químicos e limites, NBR 16697	50
Quadro 2.11 - O cimento Portland pozolânico, resistência, NBR 16697.....	50
Quadro 2.12 - O cimento Portland pozolânico limites de determinações química, NBR 16697 ..	50
Quadro 2.13 - O cimento Portland pozolânico características, NBR 16697	51
Quadro 2.14 - O cimento Portland pozolânico resistência, NBR 16697	51
Quadro 2.15 - O cimento Portland de alta resistência inicial,	51
Quadro 2.16 - O cimento Portland de alta resistência inicial, propriedades químicas, NBR 16697.....	52
Quadro 2.17 - O cimento Portland de alta resistência inicial, propriedades físicas e mecânicas, NBR 16697	52
Quadro 2.18 - O cimento Portland de alta resistência inicial,	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 -	Adoção do consumo de água por m ³ de concreto em função do abatimento e da Dimensão Máxima Característica (DMC) do agregado utilizado na produção do concreto.....	59
Tabela 2.2 -	Volume compactado seco (V _{pc}) por m ³ de concreto em função do Módulo de Finura (MF) e da Dimensão Máxima Característica (DMC).....	60
Tabela 3.1 -	Relação das lagoas de estabilização e de pré-condicionamento utilizadas, com respectiva numeração atribuída neste trabalho. Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. 2017.	73
Tabela 3.2 -	Correlações entre o ensaio de abatimento e trabalhabilidade.	77
Tabela 3.3 -	Parâmetros físico-químicos de qualidade da água para produção de concreto. Fortaleza, Ceará. 2017.	81
Tabela 4.1 -	Análises microbiológicas do esgoto bruto, com e sem AACP, com relação à presença de coliformes termotolerantes. Fortaleza, Ceará. 2017.....	83
Tabela 4.2 -	Culturas de bactérias heterotróficas do esgoto bruto, com e sem AACP, com relação à presença de bactérias heterotróficas. Fortaleza, Ceará. 2018.	86
Tabela 4.3 -	Parâmetros físico-químicos de qualidade da água para produção de concreto. Resultados determinados para o esgoto bruto EPC - Estação de Pré-condicionamento de esgoto. Fortaleza, Ceará. 2017.....	95
Tabela 4.4 -	Resultados do slump test obtidos para cada moldagem. Fortaleza, Ceará. 2017.	96
Tabela 4.5 -	Ensaio de Resistência à compressão aos 7 dias. Fortaleza, Ceará. 2017.	98
Tabela 4.6 -	Ensaio de Resistência à compressão aos 7 dias (Resumo). Fortaleza, Ceará. 2017.....	98
Tabela 4.7 -	Ensaio de Resistência à compressão aos 28 dias. Fortaleza, Ceará. 2017.	99
Tabela 4.8 -	Ensaio de Resistência à compressão aos 28 dias (Resumo). Fortaleza, Ceará. 2017.....	99
Tabela 4.9 -	Ensaio de Resistência à compressão com tempos mais longos. Fortaleza, Ceará. 2017.....	100
Tabela 4.10 -	Ensaio de Resistência à compressão com tempos mais longos. (Resumo). Fortaleza, Ceará. 2017.	101

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AACP	Ação Antimicrobiana no Cimento Portland
AAPC	<i>Antimicrobial Action in Portland Cement</i>
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AAP	Água de abastecimento público
APHA	<i>American Public Health</i>
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
CAD	Concreto de Alto Desempenho
CAGECE	Companhia de água e esgoto do Ceará
CCA	Concreto Auto-Adensável
CCV	Concreto Convencional
CIM	Concentrações Inibitórias Mínimas
COEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CMHC	Canada Mortgage and Housing Corporation
CP	Corpo de Prova
CT	Coliformes Termotolerantes
DMC	Dimensão Máxima Característica
DNA	<i>Deoxyribonucleic Acid</i>
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EPC	Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
GWRS	<i>Groundwater Replenishment System</i>
IBRACON	Instituto Brasileiro de Concreto
LABOSAN	Laboratório de Saneamento Ambiental
LD	Limite de detecção
NBR	Norma Brasileira Aprovada
ND	Não Detectado
MPa	MegaPascal
MF	Módulo de Finura
NMP	Número Mais Provável
NUTEA	Núcleo de Tecnologia de Alimentos do NUTEC
NUTEC	Núcleo de Tecnologia de Industrial do Ceará
ONU	Organização das Nações Unidas
ONG	Organização não governamental
OCWD	<i>Orange Country Water District</i>
PH	Potencial Hidrogeniônico
R ²	Coefficiente de determinação na curva de regressão logarítmica
RMF	Região metropolitana de Fortaleza
SbN	Soluções Baseadas na Natureza
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
UFC	Unidades Formadoras de Colônia
WHO	<i>World Health Organization</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Objetivos	22
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	<i>22</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>22</i>
1.2	Estrutura da Tese	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	Reúso de água	23
<i>2.1.1</i>	<i>Importância, aspectos sanitários e ambientais</i>	<i>23</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Ecotoxicologia</i>	<i>31</i>
<i>2.1.3</i>	<i>Tipos de reúso</i>	<i>32</i>
<i>2.1.4</i>	<i>Parâmetros de qualidade físico-química e microbiológica da água de reúso</i>	<i>34</i>
<i>2.1.5</i>	<i>Comunidades microbianas em efluentes domésticos</i>	<i>40</i>
<i>2.1.6</i>	<i>Bactérias patogênicas em efluentes domésticos</i>	<i>41</i>
2.2	Ação antimicrobiana	44
<i>2.2.1</i>	<i>Definição e mecanismos de ação</i>	<i>44</i>
2.3	Cimento	46
<i>2.3.1</i>	<i>Conceitos</i>	<i>46</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Tipos</i>	<i>46</i>
2.4	Concreto	53
<i>2.4.1</i>	<i>Características do concreto</i>	<i>53</i>
<i>2.4.2</i>	<i>Agregados</i>	<i>55</i>
<i>2.4.3</i>	<i>Classificação dos agregados</i>	<i>56</i>
<i>2.4.4</i>	<i>Tipos de concreto</i>	<i>57</i>
<i>2.4.5</i>	<i>Dosagem de concreto</i>	<i>59</i>
<i>2.4.6</i>	<i>Parâmetros de dosagem experimental</i>	<i>59</i>
<i>2.4.7</i>	<i>Fixação da relação água/cimento - Fator água/cimento</i>	<i>59</i>
<i>2.4.8</i>	<i>Tempo de Pega</i>	<i>61</i>
<i>2.4.9</i>	<i>Traço do concreto</i>	<i>62</i>
<i>2.4.10</i>	<i>Cura do concreto</i>	<i>62</i>
3	MATERIAL E MÉTODOS	63
3.1	Análises da inibição microbiana no esgoto bruto na presença do (AACP)	63
<i>3.1.1</i>	<i>Fornecimento de esgoto bruto</i>	<i>63</i>

3.1.2	<i>Coleta e preparação das amostras</i>	63
3.1.3	<i>Descrição das análises microbiológicas</i>	69
3.1.4	<i>Análises estatísticas</i>	70
3.2	Ensaio com concreto produzido com esgoto doméstico tratado e bruto	72
3.2.1	<i>Fornecimento de esgoto tratado e bruto, coleta e preparação</i>	72
3.2.2	<i>Descrição dos materiais e análises</i>	74
3.2.3	<i>Descrição dos ensaios</i>	75
3.2.4	<i>Ensaio físico-químico</i>	80
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
4.1	Avaliação da Ação Antimicrobiana do Cimento Portland (AACP)	82
4.2	Análise dos resultados do concreto	95
4.2.1	<i>Resultados físico-químicos de qualidade dos efluentes para concreto</i>	95
4.2.2	<i>Análise dos valores de abatimento de tronco de cone - Slump test</i>	96
4.2.3	<i>Análise da resistência à compressão do concreto</i>	97
5	CONCLUSÃO	115
	REFERÊNCIAS	117

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem imprescindível. A grande maioria dos sistemas ecológicos que existem na Terra depende da água para manter a vida. O ser humano, pelo seu crescimento exponencial, vem causando a poluição da água disponível, a ponto de promover a sua escassez. Atualmente, o planeta já convive com a escassez de água, resultado da poluição. Deve-se ressaltar que algumas áreas, como as desérticas, semiáridas e equatoriais, a escassez de água já existe desde sua gênese, e o problema se agrava pelo aumento populacional.

As soluções baseadas na natureza (SbN) são inspiradas e apoiadas pela natureza e usam, ou simulam, processos naturais no sentido de contribuir para o aperfeiçoamento da gestão da água. A atenção conferida às SbN tem aumentado significativamente nos últimos anos. A demanda mundial por água tem aumentado a uma taxa de aproximadamente 1% por ano, devido ao crescimento populacional, ao desenvolvimento econômico e às mudanças nos padrões de consumo, entre outros fatores, e continuará a aumentar de forma significativa durante as próximas duas décadas. Este aumento ocorrerá, principalmente, em países com economias emergentes ou em desenvolvimento (ONU, 2018).

A reutilização da água oferece o potencial de transformar o ciclo linear humano da água (extrair, tratar, distribuir, consumir, coletar, tratar e descartar) em um fluxo circular, potencialmente desacoplando o consumo municipal de água do esgotamento e poluição da água das reservas (UN, 2017).

O reuso de águas residuárias tratadas, em algumas partes do mundo, tem sido impulsionado por fatores como a escassez, nas regiões áridas e semiáridas, preocupações com a segurança hídrica, onde a demanda excede a disponibilidade ou, mesmo, a necessidade de tratamentos caros para remover nutrientes e contaminantes provenientes da descarga de efluentes em cursos d'água superficiais. No entanto, em muitas áreas, este potencial de reutilização ainda não foi explorado. Uma transição para uma economia circular poderia criar sinergias significativas para a ampla adoção da reutilização de água como um suprimento alternativo deste bem (VOULVOULIS, 2018).

O relatório da Organização das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos (ONU, 2018), da Agenda 2030, relata que dois terços da população mundial vive, atualmente, em áreas que passam pela escassez de água por, pelo menos, um mês ao ano. Cerca de 500 milhões de pessoas vivem em áreas onde o consumo de água excede os recursos hídricos. O mesmo relatório, conceitua o estresse hídrico como quando o

abastecimento de água anual cai abaixo de 1.700 m³ por pessoa. Quando o abastecimento de água anual cai abaixo de 1.000 m³ por pessoa, a população enfrenta escassez de água, no caso deste cair abaixo de 500 m³, tem-se a denominada escassez absoluta. A distribuição natural desse recurso, de forma heterogênea, pelo globo agrava ainda mais a situação. Muitas regiões já apresentam sinais claros de escassez, reduzindo o acesso, para muitas pessoas, às suas mínimas necessidades de água doce.

Os grandes desafios, hoje e no futuro, serão a ampliação da disponibilidade mundial de água doce, através de várias ações em diversas frentes. Neste trabalho propõe-se o uso de efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto - ETE e, eventualmente, em casos extremos, o uso de esgoto não tratado, na área industrial do concreto. O uso destes efluentes, prioritariamente de origem humana, ou seja, não industrial, pode ser de extrema relevância para a poupança da água de melhor qualidade.

Concentram-se os estudos no reúso de águas, com aplicação do esgoto na construção civil, em particular, na preparação do concreto. Observam-se duas grandes vantagens nessa possível aplicação: A primeira é que este tipo de aplicação ocorreria, de forma expressiva, *in loco* no perímetros urbanos. É justamente nestes tecidos urbanos que se dispõe da produção de esgotos humanos, que se transformam no insumo água não potável, com disponibilidade garantida e próxima à aplicação. A segunda seria o fato de onde existe escassez de água, os pequenos volumes dos rios e riachos disponíveis ficam muito vulneráveis aos lançamentos dos efluentes de esgotos. Desta forma, também se diminuiria a descarga de efluentes nestes corpos de água, protegendo-os da poluição.

Com a utilização desta água dentro do mesmo perímetro urbano pretende-se deixar de usar água de melhor qualidade nessa atividade industrial.

As companhias de tratamento de esgotos têm elevados custos para dar destino final aos efluentes das ETEs, uma vez que, em épocas de seca, os corpos de água podem estar com baixa vazão ou mesmo nula, ampliando de forma grave a possibilidade de poluição desses corpos de água, podendo eutrofizá-los. O reúso pode contribuir significativamente no combate à escassez, visto que a disponibilidade de água de qualidade é cada vez menor e a demanda é crescente. Isto ocorre, inclusive, com o necessário crescimento da construção civil, para atender as grandes demandas existentes no setor de distribuição de água e coleta de esgotos. A fabricação do concreto, e do pré-moldado em concreto, considerando-se a sua ampla utilização, é responsável por um elevado consumo de água.

Diante da importância do reúso de água pela indústria, no entanto visando a segurança dos trabalhadores durante o processo de fabricação do concreto, foram destacados,

neste trabalho, os riscos microbianos que os manipuladores desta indústria estariam expostos na utilização de água de reúso. Também foram testados a qualidade do concreto produzidos com o esgoto doméstico, quanto a resistência à compressão e o abatimento do tronco de cone (*slump test*).

Observou-se, em laboratório, um fenômeno de significativa importância, o decaimento da vida microbiana de forma expressiva, quando da constatação da presença de um Agente Antimicrobiano no Cimento Portland (AACP). Pressupõe-se que o AACP promova a redução dos riscos microbiológicos para os trabalhadores quando da utilização dos efluentes na indústria do concreto. A confirmação do AACP eleva o potencial da utilização da água de reúso como insumo efetivo neste setor. O AACP pode representar significativo ganho ambiental, social e econômico em futuro próximo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo do trabalho foi o de analisar a inibição microbiana nos efluentes quando da presença da Ação Antimicrobiana no Cimento Portland (AACP) e avaliar o comportamento do concreto produzido com esgoto doméstico tratado e bruto.

1.1.2 *Objetivos específicos*

- Analisar o decaimento microbiano na produção do concreto com esgoto, devido à presença do Agente Antimicrobiano no Cimento Portland - AACP;
- Avaliar a resistência à compressão do concreto produzido com esgotos bruto e tratados comparada à do concreto produzido com água de abastecimento público;
- Avaliar o abatimento do tronco de cone (*slump test*) do concreto moldado com esgoto bruto e tratado, comparado ao do concreto produzido com água de abastecimento público.

1.2 Estrutura da Tese

Esta tese está dividida em cinco capítulos, incluindo esta Introdução, e uma seção de referências bibliográficas. No Capítulo 2 apresenta-se a revisão da literatura que trata do reúso da água, das propriedades do concreto e dos seus componentes, com destaque para o cimento. No Capítulo 3, Material e Métodos, são descritas as etapas seguidas na execução da pesquisa. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos no Capítulo 4. No capítulo de Conclusões apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos, uma avaliação do alcance dos objetivos da pesquisa, além de se apresentar algumas propostas de trabalhos futuros. Na seção de Referências estão listados todos os trabalhos consultados para o desenvolvimentos desta atividade de pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Reúso de água

2.1.1 *Importância, aspectos sanitários e ambientais*

Desde os primórdios da história, a humanidade modifica o meio em que vive, retirando dele os recursos necessários à sua sobrevivência, porém, nas últimas décadas o constante crescimento populacional, a explosão industrial e a utilização insustentável dos recursos naturais acarretaram danos nas reservas de água doce. O consumo por esse recurso cresce a cada ano, tornando-se preocupante, principalmente à luz das estimativas realizadas por órgãos especializados, que apontam para um cenário ainda pior no futuro, como se pode observar em regiões da África e do Oriente Médio, onde a falta de água já é motivo de conflitos (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2012).

Segundo Nascimento et al. (2004), em vários países do mundo, o reúso planejado da água já é adotado com sucesso em diversos processos. A vantagem da utilização da água de reúso é a de preservar a água doce de melhor qualidade, reservando-a exclusivamente para o atendimento das necessidades que exijam a sua potabilidade para o abastecimento humano. Além disso, há diminuição da demanda sob os mananciais de água devido à substituição da fonte, ou seja, a substituição de uma água de boa qualidade por outra inferior, porém que contenha qualidade requerida para o destino traçado para ela. Outra vantagem relevante do reúso é a eliminação de descarga de esgotos nas águas superficiais, já que há um tratamento e os produtos resultantes do processo são destinados a locais adequados. Também em locais onde o estágio avançado de falta d'água é muito grande, a solução de reúso pode ser a melhor alternativa.

Nesse sentido, é necessário adotar maneiras que permitam a melhor e mais eficiente utilização de águas residuárias, no sentido de minimizar os riscos intrínsecos a essa prática, que podem ser associados aos riscos à saúde pública, riscos ambientais e até riscos econômicos (SCHAER, 2012). Isso porque reciclagem e reutilização oferecem uma estratégia para melhorar o abastecimento de água através da gestão de águas residuais e num contexto de economia circular podem ser promovidas através de instrumentos políticos como taxas e tarifas, aumentando a sua rentabilidade e aceitabilidade. (MOLINOS-SENANTE et al., 2013).

A potencial promoção da reutilização da água numa perspectiva de economia circular pode também representar alguns riscos significativos, em particular no que diz

respeito à qualidade da água e à saúde humana. Há muitas preocupações e incógnitas sobre o impacto da qualidade da água reciclada, dependendo do seu uso (VOULVOULIS, 2018).

As águas residuais municipais contêm uma ampla gama de compostos biológicos e químicos, alguns dos quais podem ser prejudiciais à saúde pública e aos sistemas ecológicos. Com base no uso pretendido da água, os gerentes de água podem escolher entre um portfólio de opções de tratamento para projetar um sistema de recuperação de águas residuais que atenda aos objetivos específicos de qualidade da água (THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 2012).

Ao avaliar os riscos associados à água recuperada, o potencial de falhas na confiabilidade e nos usos não intencionais também precisa ser avaliado e mitigado (THE NACION ACADEMY OF SCIENCES, 2012). Além disso, todos os projetos de reúso de água precisam ser acompanhados por educação ambiental nas comunidades para demonstrar que a tecnologia é adequada para proteger a saúde pública. Esse envolvimento cresce a credibilidade e confiança no projeto, que é frequentemente subestimada (RASO, 2013).

Para que haja redução nos riscos ambientais e de saúde pública associados à utilização de águas residuárias, mesmo em sistemas adequadamente planejados, é importante a adoção de instrumentos e regulamentos de controle e investigação, de modo a conhecer os poluentes presentes e controlar a quantidade de água residuária disposta no solo. Geralmente a concentração de poluentes químicos perigosos em águas residuárias tratadas é baixa, porém mecanismos de prevenção são sempre importantes (ANA, 2014).

Para reutilização de água, o tratamento terciário é necessário para fornecer remoção adicional de contaminantes, como patógenos microbianos, partículas ou nutrientes, e processos avançados de tratamento são empregados quando as águas residuais devem ser recuperadas para reutilização, dependendo do tipo de uso e requisitos de qualidade (MALIK 2014).

Várias opções de tratamento, incluindo processos de tratamento natural projetados e gerenciados, existem que poderiam mitigar os contaminantes microbianos e químicos na água recuperada, facilitando o processo para atender aos objetivos específicos de qualidade da água (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012). À medida que a escassez de água urbana aumenta e as tecnologias de purificação de água avançam, as águas residuais municipais estão sendo recuperadas e reutilizadas em volumes crescentes e para mais propósitos em todo o mundo (CHEN et al., 2013).

Entretanto, vale ressaltar que a presença de microrganismos patogênicos na água é uma preocupação de destaque em projetos de reutilização, uma vez que a água reutilizada

pode constituir um veículo de transmissão de doenças e dessa maneira se tornar um problema de saúde pública e/ou animal. As águas contêm grandes quantidades de microrganismos, mas sua grande maioria é ubíqua e inofensiva ao homem. No entanto, alguns microrganismos são patogênicos e sua presença pode fazer da água um potente veículo de transmissão de doenças, algumas, inclusive, muito perigosas (MONTE; ALBUQUERQUE, 2010).

Existe uma necessidade premente de investimento em novas pesquisas de desenvolvimento de processos que tenham o intuito de ampliar a utilização da água de reúso e eliminação da utilização da água potável nos processos de produção (ESTENDER; TAKEUTI; JULIANO, 2015). Os custos com recuperação de água de efluentes tratados através de processos de reúso são significantes menores (50%) que dessalinização de água do mar. Esquemas de recuperação de água possuem diversas vantagens como uma maior recuperação com mais baixas pressões operacionais (economia de energia) ao longo da vida da membrana (GUDE, 2017).

Ao eliminar as descargas de efluentes para todo ou mesmo parte do ano através da reutilização de água, um município ou uma empresa de água pode evitar ou reduzir a necessidade de processos dispendiosos de tratamento de remoção de nutrientes ou manter as alocações (consentimento sobre descargas de efluentes) enquanto expande capacidade (EPA, 2015).

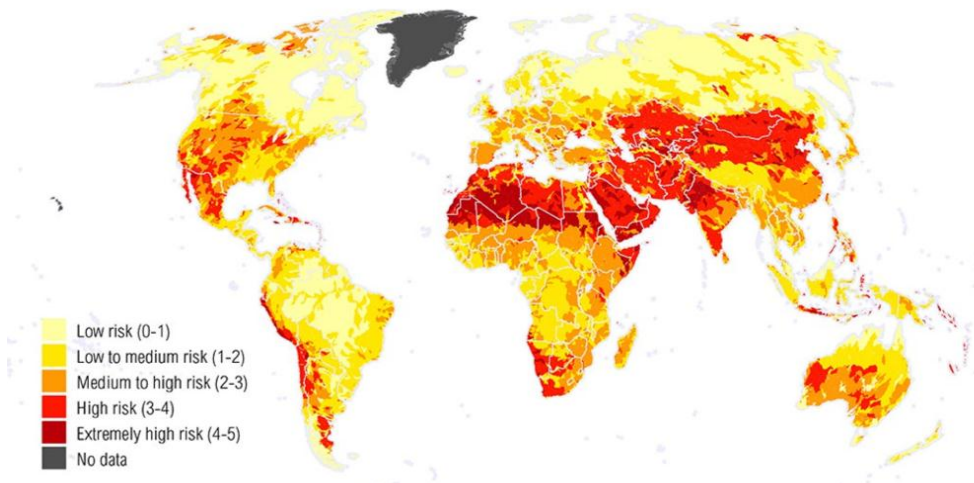
Em regiões que sofrem com a escassez de água, os recursos hídricos são explorados à sua capacidade máxima segura, ou além. Dessa forma, os volumes de água subterrânea e de superfície estão diminuindo, o que leva a menores tempos de retenção da água. Com isso geralmente é adicionada à deterioração da água pela poluição. Já em regiões com abundância de água, o efeito negativo da poluição é reduzido, mas não eliminado, pela dissipação dos poluentes. Práticas de reúso de água contribuem para balancear a qualidade dos recursos hídricos porque reduzem a pressão da exploração de fontes tradicionais (RASO, 2013).

O reúso da água tem sido empregado com maior intensidade em regiões áridas e semiáridas, onde o problema de escassez revelou-se há mais tempo. Porém, problemas de escassez de água têm se manifestado, igualmente, em regiões de maior abundância de recursos hídricos tendo por origem a concentração urbana em regiões metropolitanas, combinada ou não com outros usos intensivos, como a agricultura irrigada ou usos industriais. Na indústria, o custo da água de abastecimento já tem sido fator de implantação de iniciativas de controle de perdas e de reúso (FIORI; FERNANDES; PIZZO, 2006).

China, México e Estados Unidos (principalmente Califórnia, Texas, Arizona e Florida) são os países com as maiores quantidades de volume anual de reúso utilizado, quando se considera a intensidade de reúso por habitantes, Qatar, Israel e Kuwait são os primeiros. países do ranking, enquanto se consideramos a porcentagem de reúso relativo ao volume total de água fresca utilizada, Kuwait, Israel e Singapura são os primeiros (ANGELAKIS; GIKAS, 2014).

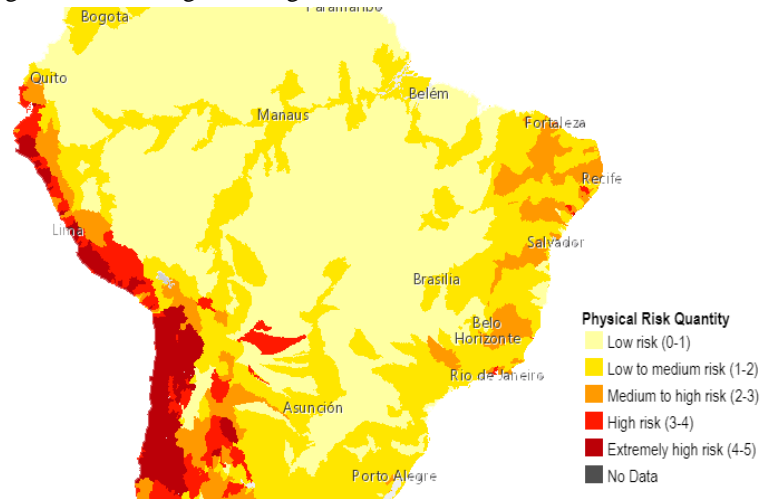
Gassert (2014) conceitua o índice de stress de água como um indicador da competição pelos recursos hídricos, definido como a demanda de consumo da água para uso humano dividido pela quantidade de água avaliável na região. Também aponta o índice de Risco Global de Água, indicado nas Figuras 2-1 e 2-2, que quantifica por região os riscos físicos relacionados a preocupações com o excesso ou escassez de água (por exemplo, secas ou enchentes) que podem afetar a disponibilidade de água a curto ou longo prazo (GASSERT et al, 2014).

Figura 2.1 - Risco geral de água 2012



Fonte: (GASSERT et al, 2014)

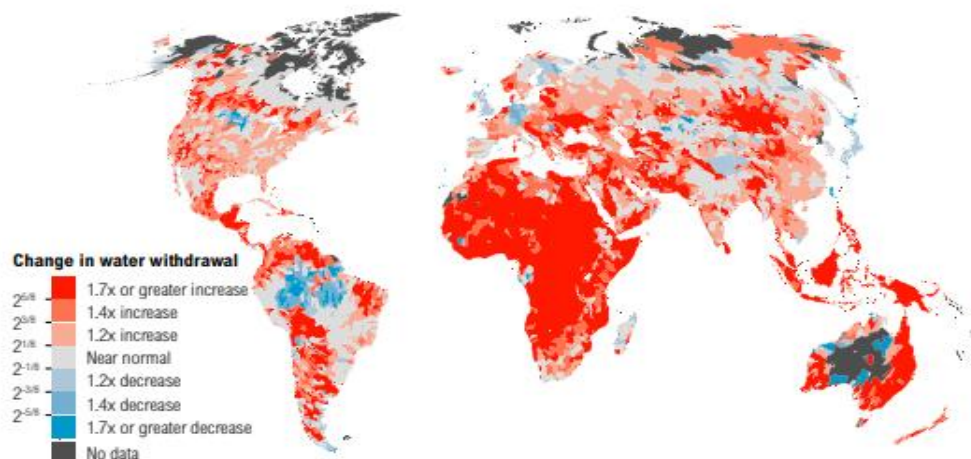
Figura 2.2 - Risco geral de água no Brasil 2012



Fonte: (GASSERT et al, 2014)

A Figura 2-3 mostra projeções que indicam aumentos relativos substanciais na demanda de água nos países em desenvolvimento onde a demanda básica de água é atualmente muito baixa. O que é reflexo da rápida urbanização e crescimento populacional desses países. Enquanto a demanda relativa de água projetada está alta, muitas áreas desenvolvidas possuem níveis muito baixos de uso e água, o que leva a diminuição dos níveis de stress de água para os anos futuros (GASSERT et al, 2014). Ressaltando as alternativas de solução de reúso de água.

Figura 2.3 - Mudança projetada na demanda de água com base em 2010 para o período de 2030 a 2050



Fonte : (GASSERT et al, 2014).

O assunto reúso é tratado na Resolução CNRH nº 54 de 28 de novembro de 2005, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais sobre a prática de reúso direto não potável de água. Para o canteiro de obras da construção civil seus usos mais comuns incluem

serviços de obra, controles ambientais da obra, bacias sanitárias, testes de impermeabilização e hidráulicos (OHNUMA, 2015).

O reúso não é um conceito novo, tendo sido praticado em todo o mundo desde antes de Cristo, como em estudos que evidenciam relatos dessa prática na Grécia Antiga, com a reutilização de efluentes na irrigação (CROOK, 1993). A demanda crescente tem feito do reúso planejado da água um tema atual e de grande importância. Devido à escassez de água em todo o mundo, a pressão para o reúso de água se intensificou nas últimas décadas.

Antes de poder ser reutilizada, a água precisa passar por tratamentos específicos. As tecnologias de tratamento de esgotos tiveram seu início entre 1893 e 1914 (CAMPOS, 1999) com os tanques sépticos e os lodos ativados. Nas décadas seguintes os processos anaeróbios começaram a ser empregados para remoção de carbono orgânico (CAMPOS, 1999; FORESTI; ZAIAT; VALLERO, 2006). Mais tarde, a partir da década de 1980, Lettinga et al. (1980) desenvolveram os reatores de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), considerados um dos avanços mais importantes na tecnologia de tratamento de esgoto, os quais foram inicialmente utilizados no tratamento de efluentes agroindustriais.

Após o sucesso do tratamento industrial, tornou-se aparente o potencial desta tecnologia para o tratamento de esgotos domésticos, o que fez com que estes reatores tenham sido utilizados em estações de tratamento de esgoto (ETE) como padrão em diversas nações, em especial, nos países em desenvolvimento, como Brasil, Colômbia, México, Egito e Índia (VAN HAANDEL et al., 2006). Os reatores UASB chegaram a constituir cerca de 75% de todos os sistemas de tratamento anaeróbio no mundo (SANZ; KÖCHLING, 2007). O severo déficit sanitário do Brasil é o principal fator que promoveu a ampla difusão dessa tecnologia (CHERNICHARO, 2007).

A pressão para a tomada de decisões como tratamento de água, esgoto e resíduos e o reúso de água vem ocorrendo devido a diversos problemas como a escassez de água potável, os conflitos associados aos seus múltiplos usos e a cobrança pelo seu uso (BERTONCINI, 2008). Vários países do mundo, principalmente do Oriente Médio e África, têm adotado o reúso de água como parte de seu planejamento e gerenciamento de recursos, considerando o esgoto como parte integrante de seus recursos hídricos (HESPANHOL, 2002). O reúso de água, tem se tornado mais importante e, cada vez mais, os efluentes de estações de tratamento de esgotos e as águas cinzas vêm se destacando como uma fonte alternativa de água para fins que não necessitam de água potável. No entanto, a falta de regulamentação nacional sobre o assunto pode trazer consequências indesejáveis como riscos à saúde pública e ao meio ambiente (REZENDE, 2016).

Em vários locais do mundo o reúso é praticado. Na Itália, por exemplo, o interesse pelo reúso cresceu a partir da década de 80, começando com a utilização de efluentes tratados na indústria e agricultura. Na Espanha, o reúso é particularmente importante devido à seca e escassez de água em muitas regiões do país. Na França o reúso de água é padrão desde a década de 90, promovendo vários tipos de aplicação, em especial no setor agrícola, e em 1996 a França lançou um manual de recomendações para o reúso (TOZE et al., 1990; CMHC, 2006). O reúso de água é praticado desde 1968 no Japão, prática originada em resposta à seca de 1978, visando minimizar o consumo de água, bem como reduzir a poluição (ASANO; MAEDA; TAKAKI, 1996; CMHC, 2006).

Atualmente há tecnologia disponível para produzir água para qualquer uso, incluindo o direto de água potável. Uma economia de até 30% no uso total de água pode ser alcançada em algumas regiões através de uma gestão adequada de recursos hídricos, incluindo a produção de água de alta qualidade com estações de tratamento de águas residuais, para reúso. Tal porcentagem pode aumentar ainda mais no futuro próximo conforme aumente a porcentagem de água tratada e sejam atualizadas para produzir efluentes que estejam em conformidade com as diretrizes de reutilização (ANGELAKIS; GIKAS, 2014).

Apesar da conscientização e difusão mundial do reúso de água, essa prática ainda não é adotada amplamente no Brasil, com poucos relatos de reúso adequadamente utilizado. Em alguns casos, o uso inadequado pode gerar problemas, como em situações onde a irrigação de cultivos, como hortaliças, é realizada com efluentes domésticos de forma inadequada e sem que haja fiscalização adequada, promovendo mais danos do que melhorias (DUARTE, 2006).

Dentre os principais motivos que impedem a expansão do reúso de efluentes em todo o mundo estão problemas de saúde pública e preocupações ambientais. Em Singapura, água tratada tem sido reutilizada para usos potáveis indiretos (principalmente através da recarga de aquíferos potáveis). Contudo, apesar do avanço tecnológico, opinião pública tende a ver uso potável de água com ceticismo (ANGELAKIS; GIKAS, 2014).

Em alguns casos o envolvimento de ONG's e associações ambientais tem um fator de sucesso crítico. Um exemplo é o Orange County Water District (OCWD), em Orange County, Califórnia, que tem praticado o reúso de água potável desde 1976, quando se começou a injetar águas residuais altamente tratadas no aquífero de águas subterrâneas da região (HARRIS-LOVETT et al., 2015). Não houve oposição pública organizada ao GWRS. As audiências públicas enfatizavam a ideia que a tecnologia iria garantir um abastecimento de água seguro e confiável para o futuro, que foi um interesse chave para a população da cidade.

Além disso, foram solicitados e aceitos feedbacks do público através de comitês consultivos de cidadãos, grupos focais e em discussões com líderes comunitários.

Outro ponto que dificulta a aplicação do sistema, tornando muitas vezes o reúso inviável, são os custos de infraestrutura com estoque e transporte da água recuperada para os pontos de uso. Assim, descentralizar o sistema de gestão de águas residuais deve ser seriamente considerado para o futuro do sistema para tratar as águas residuais perto dos pontos de geração dos resíduos (ANGELAKIS; SNYDER, 2015).

O reúso de água de forma planejada gera inúmeras possibilidades de redução de danos e melhorias socioeconômicas. A água de reúso pode ser utilizada para fins específicos e poupar grandes volumes de água potável, baseando-se nos diferentes tipos de reúso (CAMPOS, 1999; HESPANHOL, 2002).

Dentre as interferências humanas no meio, uma das mais nocivas é o lançamento de esgotos in natura, de origem doméstica e industrial, nos corpos de água, o que promove impactos graves aos sistemas ecológicos e à saúde humana. Os corpos água receptores naturais são sistemas capazes de reduzir cargas poluidoras por autodepuração, porém, o despejo excessivo de esgotos gera um problema ambiental crescente, pois o volume lançado supera a capacidade de depuração (CALIJURI et al., 2003).

Essa realidade crescente traz números alarmantes: para cada 1000 litros de água consumida produz-se 10.000 litros de água poluída, totalizando 160 bilhões m³ de água dos aquíferos por ano (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2012). O despejo de esgoto bruto diretamente em corpos de água é comum no Brasil, onde cerca de 90% dos esgotos domésticos e 70% dos industriais são lançados sem nenhum tratamento (VAZOLLER; MANFIO; CANHOS, 1999; CALIJURI et al., 2003).

Essa necessidade de adoção de medidas sustentáveis visando um melhor aproveitamento dos recursos hídricos também recai bastante sobre o setor de construção civil, grande responsável pelo consumo de água doce. Tal fato tem cada vez mais propiciado a adoção de medidas e inovações visando reduzir os impactos ambientais do setor. A construção civil vem aumentando as medidas que minimizem os impactos de sua ação no meio ambiente, praticando a “construção sustentável” e maximizando o uso de materiais recicláveis ou reciclados (ZAHNER FILHO, 2014).

A importância alcançada pelo reúso de efluentes, como ação mitigadora do risco na escassez de água doce com boa qualidade, realidade que os dias atuais nos impõem cada vez mais à valorização de conceitos antigos, que hoje adquirem novo status advindo da necessidade de garantia à segurança do reúso, destacamos a Ecotoxicologia.

2.1.2 *Ecotoxicologia*

Segundo Walker *et al.* (1996), o termo “Ecotoxicologia” foi introduzido por Truhaut em 1969 e é derivado das palavras “ecologia” e “toxicologia”. A introdução deste termo refletia a preocupação crescente sobre os efeitos ambientais de químicos sobre as espécies. Atualmente, a Ecotoxicologia é definida como o estudo dos efeitos nefastos das substâncias químicas nos ecossistemas. Apesar da criação do nome “Ecotoxicologia”, estudos toxicológicos já ocorriam há mais tempo, mas sem focar a manutenção dos ecossistemas, e sim analisando a toxicidade em certas espécies (KNIE; LOPES. 2004).

Testes de toxicidade aquática são feitos utilizando geralmente peixes, caramujos, daphnias e algas que são expostos a agentes tóxicos por um certo período de tempo onde é analisado os efeitos desta exposição sobre a reprodução e desenvolvimento dessas espécies, além dos danos gerados sobre esses seres a curto e longo prazo (efeitos agudos e crônicos). Dessa forma, a análise permite ainda a avaliação de danos menores e que podem ser contínuos em uma geração. Ou seja, a análise vai muito além da letalidade de certas substâncias atualmente. A tecnologia aliada ao trabalho com esses organismos tornou possível resultados antes improváveis de serem identificados apenas com os aparelhos, devido às suas limitações tecnológicas que impossibilitavam a detecção de certos agentes abaixo de uma quantidade limite, entretanto devido a maior sensibilidade dos organismos-teste utilizados facilitou-se esse trabalho, ocorrendo uma variação desde a apresentação dos sintomas dos efeitos agudos ou crônicos até a mortalidade (KNIE; LOPES. 2004).

O lançamento contínuo de efluentes líquidos em ambiente aquático, mesmo que após tratados, pode gerar efeitos crônicos ao ecossistema ali presente, visto que os organismos serão expostos aos poluentes presentes, mesmo que em baixas concentrações, durante longos períodos de tempo. Se os poluentes lançados forem degradáveis, ocorrerá equilíbrio a partir de uma certa distância do ponto de lançamento, entretanto no local próximo ao lançamento os organismos presentes poderão enfrentar dificuldades para manterem-se no ambiente, levando assim, a alterações na estrutura e funcionamento do sistema ecológico aquático. A rejeição de substâncias persistentes ou bioacumuláveis pode acarretar em efeitos mais extremos nas populações que forem expostas (WILLIAMS; JAMES; ROBERTS, 2000).

Uma ferramenta usada para realizar a avaliação da toxicidade são os testes ecotoxicológicos, que estabelecem o efeito potencial negativo das substâncias químicas mediante bioensaios, tanto em água como em matrizes sólidas, como o lodo de ETEs (BARROSO e CORDEIRO 2001; COSTA *et al.*, 2003). Os metais no meio ambiente e nos

seres vivos promovem influência sobre os mecanismos bioquímicos, atraindo as pesquisas na área de Ecotoxicologia. As ações antropogênicas vêm potencializando esses efeitos na indução de quadros cancerígenos na população. Essas contaminações do ambiente e conseqüentemente dos seres vivos pelos metais está diretamente relacionado como estes migram no nosso planeta. Entre esses metais, o zinco e o chumbo têm atraído atenção. A necessidade de estudos na área da Ecotoxicologia com o crescimento exponencial da população e conseqüentemente a interferências no equilíbrio do planeta preocupa. Assim são utilizados organismos vivos indicadores que sofrem diretamente os efeitos dos desequilíbrios ocorridos nos ambientes aquáticos onde vivem (ZAGATTO et al., 1999).

Segundo Chasin e Pedrozo (2004):

“O objetivo primeiro da Ecotoxicologia é gerenciar o risco, o que constitui condição indispensável para o estabelecimento de medidas de segurança na utilização dos compostos químicos e que, conseqüentemente, assegura a proteção do meio ambiente e da saúde humana”.

...

“A Toxicologia Ambiental e a Ecotoxicologia são termos que os autores têm empregado para descrever o estudo científico dos efeitos adversos causados aos organismos vivos pelas substâncias químicas liberadas no ambiente”.

A Toxicologia Ambiental e a Ecotoxicologia são termos descrevem os efeitos adversos nos organismos vivos pelas substâncias químicas liberadas no ambiente através de estudos científicos. Toxicologia Ambiental é usada nos estudos que em geral avaliam as substâncias químicas liberadas sobre os impactos nos seres humanos e o termo Ecotoxicologia, para os estudos dos efeitos desses compostos sobre os ecossistemas e seus componentes não-humanos (FERNÍCOLA; BOHRER-MOREL; BAINY, 2004).

2.1.3 Tipos de reúso

O reúso pode ser classificado em direto, indireto e reciclagem interna e seu destino pode ser para fins potáveis, não potáveis, agrícolas ou industriais (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1973; HARWOOD et al., 2005), portanto, os níveis de tratamento e critérios de segurança, bem como os custos de operação e manutenção são definidos pela qualidade da água utilizada e o foco do reúso (HESPANHOL, 2002).

A qualidade de um efluente deve ser avaliada por algumas características físico-químicas e microbiológicas, as quais variam em virtude das interferências antrópicas e da sua

origem. Essas variáveis na qualidade dos efluentes são consideradas em função da aplicação dessas águas. Para cada aplicação devem existir ou devem ser desenvolvidas normas para sua utilização, ou seja, o uso de efluentes deverá ter a qualidade necessária em função da sua aplicação. Esses parâmetros são utilizados para indicar, de forma direta ou indireta, se a presença de substâncias ou microrganismos pode indicar o comprometimento da qualidade em cada aplicação.

As modalidades específicas de reúso variam de acordo com os órgãos reguladores de cada país, não havendo uma padronização. De forma geral, a classificação é a seguinte:

- Reúso indireto: água residual, doméstica ou industrial, já utilizada, uma ou mais vezes e descarregada no meio. Encontra-se diluída a jusante.
- Reúso direto: efluentes tratados com objetivos específicos, desde irrigação ou uso industrial.
- Reciclagem interna: água reutilizada nas próprias instalações industriais, visando economia de recursos e mitigação da poluição.

Uma outra classificação de reúso de águas em categorias é a determinada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2004):

- Reúso urbano irrestrito: irrigação de áreas de acesso não controlado, como parques, jardins, descarga de sanitários, proteção contra incêndio, construção civil e fontes ornamentais.
- Reúso urbano restrito: irrigação de áreas de acesso controlado, como cemitérios e canteiros de rodovias.
- Reúso agrícola de culturas alimentícias: irrigação de alimentos destinados ao consumo humano direto (cru).
- Reúso agrícola de culturas não alimentícias: irrigação de forragem para gado, fibras, sementeiras, viveiros e aquicultura.
- Reúso recreacional irrestrito: represas e lagos de acesso não controlado para atividades recreacionais como natação e mergulho.
- Reúso recreacional restrito: represas e lagos de acesso controlado, recreação limitada à atividades de contato indireto, como pesca ou canoagem.

- Reúso ambiental: criação de lagos artificiais.
- Reúso industrial: uso em sistema de refrigeração de instalações industriais ou caldeiras.
- Reúso para recarga de aquífero: reposição de aquífero e lençol freático e controle de salinidade.

2.1.4 Parâmetros de qualidade físico-química e microbiológica da água de reúso

A qualidade de um efluente deve ser avaliada por algumas características físico-químicas e microbiológicas, as quais variam em virtude das interferências antrópicas e da sua origem.

A Resolução COEMA nº02, de 02 de fevereiro de 2017 , dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras e define condições e padrões para reuso (CEARÁ, 2017). O reúso direto de água não potável, para efeito desta resolução, abrange as seguintes modalidades:

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

O reúso externo de efluentes sanitários para fins urbanos deverá obedecer aos seguintes parâmetros específicos:

- Coliformes termotolerantes: até 5000 CT/100 mL.
- Ovos geohelminhos: até 1 ovo/L de amostra;
- Condutividade elétrica: até 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- pH entre 6,0 e 8,5;

Parágrafo Único: Para fins de irrigação paisagística, o parâmetro Coliformes termotolerantes deve ser até 1000 CT/100 mL. O reúso externo de efluentes sanitários para fins agrícolas e florestais deverá obedecer aos seguintes parâmetros específicos:

- i. Coliformes termotolerantes, da seguinte forma: a) Culturas a serem consumidas cruas cuja parte consumida tenha contato direto com a água de irrigação: Não Detectado - ND; b) as demais culturas até 1000 CT/100 mL.
- ii. Ovos de geohelmintos, da seguinte forma: a) Culturas a serem consumidas cruas cuja parte consumida tenha contato direto com a água de irrigação: Não Detectado - ND; b) as demais culturas: até 1 ovo geohelmintos/L de amostra
- iii. Condutividade elétrica: até 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- iv. pH entre 6,0 e 8,5
- v. Razão de Adsorção de Sódio - RAS: $(15 \text{ mmolcL}^{-1})^{1/2}$.

O reúso externo de efluentes sanitários para fins ambientais deverá obedecer aos seguintes parâmetros específicos:

- i. Coliformes termotolerantes: até 10.000 CT/100 mL.
- ii. Ovos geohelmintos: até 1 ovo/L de amostra.
- iii. Condutividade elétrica: até 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- iv. pH entre 6,0 e 8,5.

O reúso externo de efluentes sanitários para aquicultura deverá obedecer aos seguintes parâmetros específicos:

- i. Coliformes termotolerantes: até 1000 CT/100 mL.
- ii. Ovos geohelmintos - ND/L de amostra.
- iii. Condutividade elétrica: até 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- iv. pH entre 6,0 e 8,0
- v. Temperatura: até 40° C

A qualidade da água de reúso interno para fins de uso dentro do processo industrial será de responsabilidade do empreendedor. Quanto ao reúso de água não potável proveniente de processos industriais, mesmo que na área do empreendimento, quando ocorrer lançamento direto, deverá obedecer aos padrões de lançamento de reúso externo.

O reúso externo de efluentes não sanitários deverá ocorrer mediante a apresentação de projeto ao órgão ambiental competente, o qual deverá contemplar:

- i. caracterização dos efluentes a serem destinados ao reúso, contendo as substâncias químicas previstas na Seção II desta Norma;
- ii. testes de ecotoxicidade, no que couber;
- iii. informações sobre o processo de atividade da qual se originam;
- iv. caracterização da modalidade de reúso;
- v. laudo conclusivo, com ART.de um profissional habilitado, atestando a viabilidade ambiental do reúso proposto;
- vi. outros estudos que se façam necessários de acordo com o órgão ambiental competente.

As coletas de amostras e as análises de efluentes líquidos e do corpo receptor, para fins de automonitoramento, deverão ser realizadas por laboratórios.

Quanto às resoluções CONAMA 357/2005, 397/2008 e 430/2011, definem as condições para o lançamento de efluentes de forma direta ou indireta em corpos de água, estabelecendo os seguintes parâmetros de qualidade dos efluentes: pH; temperatura; demanda bioquímica de oxigênio (DBO); materiais sólidos (sedimentáveis ou flutuantes); óleos e graxas; cloro residual. Outros dois parâmetros utilizados são os coliformes, dentre os quais a *Escherichia coli* tem destaque.

Segundo as resoluções do CONAMA, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam aos limites a seguir (BRASIL, 2005; 2008; 2011):

pH

O termo pH significa potencial hidrogeniônico e representa a concentração de íons hidrogênio em uma dada solução. No tratamento de água este parâmetro é essencial pois é necessário para melhorar os processos de coagulação, floculação e desinfecção da água. O pH pode afetar diretamente o equilíbrio bioquímico dos organismos na água, pois tem influência

sobre a fisiologia de diversas espécies. Além disso, há o efeito indireto, pois, em determinadas condições, o pH contribui para a precipitação de certos componentes químicos potencialmente tóxicos e afeta a solubilidade de nutrientes. De forma geral, o pH em neutralidade promove a diversificação do ecossistema aquático, tanto em meios aeróbios como anaeróbios.

Desta forma, o pH deve ter um limite estabelecido para as diversas classes de águas naturais, segundo a Resolução 357/2005 do CONAMA, sendo este parâmetro um dos índices de qualidade de águas. O valor do pH varia de 0 a 14, sendo o pH abaixo de 7 considerado ácido e acima deste valor, alcalino. O pH é considerado neutro em valores próximos a 7. Em sistemas de tratamento, o pH deve ficar entre 5 a 9, para a água tratada (BRASIL, 2005; 2008; 2011).

Temperatura

A temperatura é um fator que influi diretamente na taxa de reações químicas. A velocidade de decomposição dos esgotos, por exemplo, aumenta com o aumento da temperatura até a faixa entre 25 e 35° C, considerada como ideal para atividade microbiológica. Em locais cujas estações incluem invernos rigorosos, os esgotos podem atingir baixas temperaturas, inviabilizando a atividade microbiana, o que torna necessário o aquecimento de efluente nas estações de tratamento, para promover essa atividade. Em sistemas de tratamento, a temperatura deve ser inferior a 40°C, e as variações de temperatura do corpo receptor não pode exceder a 3°C na zona de mistura (BRASIL, 2005; 2008; 2011).

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) pode ser definida como o valor de oxigênio molecular necessário para decompor uma quantidade de matéria orgânica decomposta biologicamente por via aeróbia.

Toda decomposição biológica de matéria orgânica presente na água consome oxigênio molecular, pois o despejo de dejetos orgânicos em um corpo de água provoca uma demanda de oxigênio, visto que a oxidação desse material é realizada por via enzimática. Portanto, a redução de oxigênio pode indicar atividade microbiana decompositora, sendo a DBO um parâmetro adotado como forma de controle de remoção de cargas orgânicas (SILVA; FERREIRA; FREITAS, 2000).

Segundo as Resoluções do CONAMA para sistemas de tratamento, a DBO em 5 dias, a 20°C deve apresentar, no máximo, 120 mg/L (BRASIL, 2005; 2008; 2011). Ainda segundo essas resoluções, este limite só pode ser ultrapassado caso o efluente seja proveniente

de sistema de tratamento cuja eficiência de remoção mínima seja de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor (BRASIL, 2005; 2008; 2011).

Óleos e graxas

Os óleos e graxas são hidrocarbonetos, gorduras e ésteres de origem mineral, vegetal ou animal. Essas substâncias orgânicas raramente são encontradas em águas naturais, portanto, se encontrados, são oriundos de despejos de resíduos, provenientes desde despejos domésticos, como no preparo e manipulação de alimentos (manteiga, óleos, carnes etc.), até descartes de oficinais e indústrias (óleo motor, óleo de freio, graxa etc.) (GNIPPER, 2008).

Estes matérias são altamente prejudiciais em um sistema de tratamento de esgotos, pois são compostos estáveis não facilmente decompostos por bactérias. Em grandes quantidades, podem formar uma camada de espuma na superfície ou depositar-se na tubulação, prejudicando o tratamento do esgoto, visto que a agregação de sólidos ou partículas em suspensão promovida por estes compostos é intensa (SEMIONATO et al., 2005). Segundo as Resoluções do CONAMA (BRASIL, 2005; 2008; 2011), para sistemas de tratamento, o teor de óleos e graxas deve ser até 100 mg/L.

Cloro

O cloro atua como um agente bactericida, o qual, adicionado no tratamento, é capaz de eliminar tanto bactérias como outros microrganismos presentes na água. As formas de atuação do cloro visam: desinfecção, por destruição de organismos patogênicos, a oxidação de compostos, alterando características da água, ou ambas simultaneamente (BAZZOLI, 1993), sendo a primeira a mais comumente utilizada. A atuação do cloro se deve ao seu potencial oxidante, sendo influenciado pelo pH (queda da reatividade por aumento de pH) e temperatura (velocidade de reação aumenta com aumento de temperatura), sendo de reação rápida em temperatura ambiente (VAN BREMEM, 1984). Segundo as Resoluções do CONAMA (BRASIL, 2005; 2008; 2011), para águas doces, o cloro residual deve ser 0,1mg/L, porém não existe um valor determinado para sistemas de tratamento de água.

Sólidos e turbidez

Os sólidos na água correspondem à matéria residual após evaporação, secagem ou calcinação. Esses processos definem as frações de sólidos presentes, que podem ser divididos em sólidos em suspensão ou dissolvidos. Os sólidos dissolvidos são partículas de diâmetro

inferior a $10^{-3}\mu\text{m}$ que permanecem em solução mesmo após a filtração. Os sólidos em suspensão são partículas maiores que os dissolvidos, podendo ou não sedimentar. Pode-se classificá-los da seguinte forma:

- Sólidos em suspensão: após filtração, permanece como resíduo, sendo divididos em:
 - Sólidos sedimentáveis: material que sedimenta após um período de repouso;
 - Sólidos não sedimentáveis: material que não sedimenta, portanto só podem ser removidos por coagulação, floculação e decantação;
- Sólidos dissolvidos: material que passa completamente através do filtro, portanto, estão em solução ou colóide.

A deposição de sólidos na água pode ocorrer por processos naturais, como processos erosivos, detritos orgânicos ou inorgânicos, ou antropogênicos, como deposição de efluentes ou resíduos.

A turbidez é representada pelos sólidos em suspensão, desde partículas (como argila, silte, substâncias orgânicas, organismos microscópicos etc.) até sólidos macroscópicos, fluando na água, portanto, reduzem a sua transparência. A turbidez é medida pela resistência da água à passagem de luz. Este é influenciado por vários fatores, como algas, plâncton, matéria orgânica, substâncias inorgânicas, como zinco, ferro, manganês, areia etc. A diversidade de compostos é resultante de várias contribuições, como processos erosivos, despejos domésticos ou industriais.

A turbidez influencia no tratamento da água, pois quanto maior a turbidez, maior a probabilidade de formação de flocos pesados, os quais decantam rapidamente, algo que geralmente não ocorre em águas com baixa turbidez.

Segundo as Resoluções do CONAMA (BRASIL, 2005; 2008; 2011), quaisquer materiais sedimentáveis só são permitidos até 1mL/L em testes de 1 hora em cone *Inmhoff*. Em corpos de água parada (lagos e lagoas) com velocidade de circulação nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes. Adicionalmente, sólidos grosseiros e materiais flutuantes devem estar ausentes. No caso de sólidos em suspensão, a eficiência mínima de remoção deve ser de 20%, após desarenação.

Para turbidez, as resoluções determinam como padrão de potabilidade uma turbidez inferior a 1 unidade, porém não existe um valor determinado para sistemas de

tratamento de esgoto, havendo apenas a obrigatoriedade de ausência de materiais flutuantes, como supracitado (BRASIL, 2011).

2.1.5 Comunidades microbianas em efluentes domésticos

A microbiota de efluentes domésticos brutos apresenta um papel fundamental na qualidade da água analisada, porém a diversidade desses organismos não tem sido estudada de forma tão profunda quanto as pesquisas com lodo, com biorreatores em escala piloto ou com efluentes tratados (SANAPAREDDY et al., 2009; YE et al., 2009; XIA et al., 2010; WANG et al., 2012).

A deficiência no estudo da microbiota de efluentes domésticos brutos é particularmente notória nos países em desenvolvimento, pois as águas residuais provenientes de fábricas e residências são drenadas diretamente para o mar, algo que, em virtude do aumento da produtividade industrial e crescimento populacional nesses países, tem impactado os corpos de água de forma ainda mais severa, reduzindo ainda mais a qualidade da água na zona costeira próxima (WANG et al., 2012).

Nos escassos estudos sobre a microbiota de efluentes brutos, sabe-se que esta é dominada por dois filos: Firmicutes, que pode ser encontrado em uma grande variedade de ambientes e incluem organismos patogênicos; e Bacteroidetes, que contém gêneros com alguns organismos patogênicos oportunistas (BÄCKHED et al., 2005; ECKBURG et al., 2005).

Apesar da dominância destes dois filos, a distribuição das espécies pertencentes a eles pode variar de acordo com o substrato no sistema (ANDERSON; SALLIS; UYANIK, 2003). Vários fatores podem variar a distribuição das espécies, como exemplo temos o fator de alteração é a entrada de bactérias exógenas àquele microcosmo analisado, provenientes da mistura de efluentes, contendo excretos, solo ou águas cinza, em estações de tratamento (MCLELLAN et al., 2010; VANDEWALLE et al., 2012).

Alguns fatores, além do substrato, podem alterar a composição da microbiota em efluentes não tratados e em lodos de sistemas de tratamento de esgoto sanitário, como: fatores ambientais externos e internos (SOGIN et al., 2006; LOZUPONE; KNIGHT, 2007; TURNBAUGH et al., 2009), temperatura (LIN; WU; HUNG, 2008); pH (ANTHONISEN; PRAKASAM; KODUKULA, 1988); carga orgânica volumétrica (COV) (MARIKAKIS et al., 2011; SITTIJUNDA; REUNGSANG, 2012).

Estudos como os de Wang *et al.* (2014) evidenciam como a composição da comunidade pode variar: os autores observaram que o filo predominante foi Proteobacteria, sendo 90% α -Proteobacteria, β -proteobacteria e γ -proteobacteria em detrimento dos demais grupos, seguido dos filos Bacteroidetes e Firmicutes. Estes dados sugerem que as alterações na estrutura da comunidade foram causadas por efeitos ambientais (espaciais e sazonais), bem como a alterações das características físico-químicas do efluente (WANG *et al.*, 2014).

A diversidade do meio pode reduzir a estabilidade do sistema a longo prazo, promovido pela elevação de perturbações ou desequilíbrios. Esse fato decorre da resistência e da estabilidade que um sistema podem limitar a capacidade da comunidade de modificar sua diversidade, minimizando possíveis alterações de nichos ecológicos e reduzindo a capacidade de reequilíbrio funcional e ecológico (MCCANN, 2000; WALKER *et al.*, 2004; VASCONCELOS, 2017).

Em detrimento de grupos mais importantes, grupos microbianos menores podem se tornar dominantes, por serem mais especializados e apresentarem maior eficiência na degradação do substrato (VASCONCELOS, 2017).

2.1.6 Bactérias patogênicas em efluentes domésticos

A Resolução Conama 357/2005, alterada pela Resolução 397/2008, define as condições para o lançamento de efluentes de forma direta ou indireta em corpos de água, estabelecendo os parâmetros de qualidade dos efluentes. O efluente doméstico bruto possui organismos patogênicos, em especial, bactérias coliformes, com níveis de resistência variados aos processos de inibição, portanto é necessário selecionar microrganismos para monitorar a qualidade da água. Essa escolha consiste em um grupo de bactérias patogênicas provenientes do trato gastrointestinal, como os coliformes.

Coliformes

Os coliformes pertencem à família Enterobacteriaceae (*Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Hafnia*, *Klebsiella*, *Serratia* e *Yersinia*) e apesar do termo “coliforme fecal” ser utilizado, essa denominação é equivocada, pois somente *E. coli* é de origem exclusivamente fecal. Os outros gêneros de coliformes podem viver em outros habitats, como no solo, e podem se desenvolver em águas eutróficas e biofilmes. Os coliformes podem ser dividido entre coliformes totais e termotolerantes (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2009), conforme descritos a seguir.

Coliformes totais

Os coliformes totais são bacilos Gram-negativos, oxidase negativos, incapazes de formar esporos, com capacidade de crescer tanto aeróbica quanto anaerobicamente na presença de sais biliares ou tensoativos. São capazes de fermentar a lactose entre 35 e 37°C, produzindo ácido, gás e aldeído em até 48h. A enzima β -galactosidase é característica desse grupo.

Coliformes termotolerantes

Os coliformes termotolerantes possuem características similares às dos totais, caracterizados por serem bastonetes gram-negativos, anaeróbios facultativos e não formarem esporos. Entretanto apresentam como principais diferenças sua capacidade de fermentar a lactose entre 44 e 45°C, formando ácido e gás, além de provas positivas para indol, β -glucuronidase e ausência de uréase (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1998).

Os critérios para selecionar bactérias mais adequadas como indicadoras de poluição fecal são: presença abundante em fezes humanas e animais; presença em efluentes residuais e ausentes em águas limpas; ser exclusivamente de origem fecal; ser de fácil cultivo; e ser detectável por métodos simples (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1998; CARVALHO et al., 2009; DUARTE, 2011). Dentre as coliformes, a *E. coli*, único membro da família Enterobacteriaceae de origem exclusivamente intestinal, satisfaz a maior parte dos critérios exigidos (VASCONCELLOS; IGANCI; RIBEIRO, 2006).

A *E. coli* é comum na microbiota do trato gastrointestinal e não representa perigo para o hospedeiro, pois vive em simbiose com ele. Esta espécie é a principal representante de coliformes termotolerantes por ser facilmente detectável e ser dominante em amostras fecais, portanto, sua concentração na água tem relação direta com o grau de sua contaminação fecal (PEPPER et al., 2008; DUARTE, 2011).

A *E. coli* está presente nas fezes de todos os grupos de mamíferos, em número elevado (10⁹ por grama de fezes), representando entre 96 a 99% da massa bacteriana nas fezes humanas e animais (PEPPER et al., 2008; DUARTE, 2011). A presença desses organismos é utilizada como parâmetro de avaliação da distribuição de água (BRASIL, 2004; WHO, 2006).

Apesar da simbiose com o hospedeiro, algumas cepas de *E. coli* podem apresentar potencial patogênico, promovendo diarreias, septicemia, meningite e infecções, em especial do sistema urinário. Em todas estas espécies a transmissão ocorre por via fecal-oral e podem causar desde diarreia até colite hemorrágica ou disenteria (PEPPER et al., 2008).

Bactérias heterotróficas

As bactérias heterotróficas quase sempre estão presentes em concentrações maiores que coliformes. As bactérias heterotróficas são microrganismos capazes de formar colônias na presença de matéria orgânica suprida por um meio de cultura apropriado. A presença de coliformes termotolerantes no efluente indica a ocorrência de poluição fecal, enquanto a presença de bactérias heterotróficas reflete a população microbiana presente tipicamente em água bruta (BRASIL, 2004; WHO, 2004).

O aumento na concentração de heterotróficas, em geral, indica falhas na estação de tratamento (tratamento, biofilmes ou corrosão) ou uma contaminação pós-tratamento (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2004). Apesar de servirem como indicadores funcionais do sistema de tratamento de esgoto, não existem evidências de que este grupo apresente efeitos deletérios na saúde por ingestão de água (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2004). Apesar disso, foi estabelecido que um limite máximo de até 500 UFC/100 mL no monitoramento da qualidade da água como norma.

Apesar dos coliformes serem usados como padrão de contaminação fecal, uma das deficiências desse uso é o recrescimento deste grupo em ambientes aquáticos e sistemas de distribuição. O recrescimento, que ocorre mais em heterotróficas do que em coliformes, pode mascarar ou inibir a presença destes últimos, pois uma vez que as heterotróficas estejam em concentrações maiores, estas interferem na recuperação dos coliformes (LECHEVALLIER, 1990). O recrescimento pode ser causado pelo crescimento elevado de bactérias heterotróficas, bem como a desproporcionalidade da população com os protozoários e vírus, ambos de origem entérica (PEPPER et al., 2008).

Outros grupos

Outras bactérias, como *Pseudomonasaeruginosa* e espécies de *Enterococos* têm sido propostos como indicadores adicionais de qualidade para as águas, complementando a análise de coliformes, pois têm sido frequentemente detectadas em águas recreacionais e por sua presença provocar riscos à saúde por contato, inalação ou ingestão (CLESCERI; GREENBERG; EATON, 1998; MOTA; VON SPERLING, 2009).

Já as espécies de *Enterococos* consistem de estreptococos fecais, com alta tolerância às adversidades ou inibições de crescimento por fatores ambientais, pois são capazes de crescer em concentrações de 6,5% de cloreto de sódio, em pH 9,6 e em temperaturas entre 10°C a 45°C. (BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE., 2001).

2.2 Ação antimicrobiana

2.2.1 Definição e mecanismos de ação

O termo agente (ação) antimicrobiano foi definido como "um substância natural, semi-sintética ou sintética que apresenta atividade antimicrobiana, matando ou inibindo o crescimento de microrganismos". O cloreto de sódio (sal de cozinha) é o mais antigo agente antimicrobiano. (PAGE; GAUTIER, 2012).

Os mecanismos de ações antimicrobianas ocorrem de diversas formas na efetivação da ação antimicrobianas, entre as quais se pode destacar alterações da membrana citoplasmática, inibições do metabolismo e de sínteses de proteínas, DNA e parede celular, dentre outros mecanismos (EGUCHI, 1989).

Quanto a forma de atuar os agentes antimicrobianos produzem sua ação de acordo com sua forma de atuação. Os quimioterápicos são sintéticos ou produzidos por organismos, com ação predominante contra microrganismos e células cancerígenas humanas. Já os antibióticos são produzidos por microrganismos, ativos contra outros microrganismos. Os bacteriostáticos são agentes de ação antimicrobianos que inibem o crescimento microbiano. Tem ação reversível. Já os bactericidas são os que matam os microrganismos com ação irreversível (EGUCHI, 1989).

Os usos de antimicrobianos variam, indo desde a higienização de superfícies, materiais ou equipamentos até o combate às bactérias patogênicas com alto risco de morte (REYBROUCK, 1998). Dentre estes usos, pode-se citar a desinfecção de água, por exemplo, que é realizada visando destruir ou inativar microrganismos patogênicos, os quais podem sobreviver na água por várias semanas, em temperaturas próximas a 21°C, ou sobreviver por meses, em baixas temperaturas (CUBILLOS, 1981).

Vários fatores ecológicos influenciam na sobrevivência dos microrganismos na água, como temperatura, pH, turbidez, oxigênio dissolvido, nutrientes disponíveis, competição, resistência a substâncias tóxicas e capacidade de esporulação e aspectos morfofisiológicos (ROSSIN, 1987).

Do ponto de vista ambiental e bioquímico, a desinfecção de corpos de água depende de vários fatores, como: as espécies presentes, a concentração de organismos patogênicos, tipo e concentração do antimicrobiano, tempo de contato, fatores físico-químicos, nível de dispersão do antimicrobiano na água e a resistência específica de certas espécies de bactérias (LAUBUSCH, 1971).

A resistência de certas bactérias a antimicrobianos específicos varia consideravelmente, como ocorre no caso da resistência a antibióticos. A resistência bacteriana a antimicrobianos pode ocorrer de forma intrínseca ou adquirida. A resistência intrínseca ocorre quando um microrganismo apresenta um gene específico de resistência a um antibiótico (OLIVEIRA; SILVA, 2008; NHAMBE, 2014).

A resistência adquirida ocorre quando há aquisição de material genético exógeno, derivado de uma transferência horizontal de um gene de resistência (CASTANHEIRA, 2013; NHAMBE, 2014).

A resistência a antibióticos ocorre, principalmente, devido ao uso indiscriminado destes nas mais variadas áreas, como na medicina, pecuária, agricultura etc. O uso abusivo desses antimicrobianos específicos contribui para o surgimento e propagação de certas cepas bacterianas com resistência a antibióticos específicos, culminando em cepas multirresistentes. (MARINHO, 2013).

No caso dos sanitizantes, raramente foi relatado o desenvolvimento de resistência, visto que estas substâncias, em geral, são utilizados em concentrações elevadas, quando comparado às suas concentrações inibitórias mínimas (CIM). Já os antibióticos são utilizados em concentrações muito próximas da CIM (KASTBJERG; GRAM, 2012).

Os sanitizantes, por exemplo, são muito utilizados na desinfecção de água. Estes antimicrobianos são caracterizados por reduzirem ou eliminarem contaminantes bacterianos até um nível seguro. Além da água, os sanitizantes podem ser utilizados em alimentos, pisos, equipamentos, utensílios e em residências, atuando no controle de patógenos, sejam veiculados por água ou alimentos (RIBEIRO; CANUTO; VESCHI, 2008).

2.3 Cimento

2.3.1 Conceitos

O cimento, de acordo com a ABCP (2002), na construção civil ressalta-se como o material de mais extenso uso global, um pó fino, com propriedades aglomerantes e ligantes que endurece submetida à hidratação. Atualmente é um material muito usado devido à sua aplicabilidade na construção civil, principalmente para a produção de concreto e argamassas de revestimento. O concreto é o segundo material mais consumido pela humanidade, superado apenas pela água (SILVA, 2008).

2.3.2 Tipos

Cimento Portland Comum

De acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018), o cimento Portland comum (CP I e CP I-S) é um “Aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos.”

As exigências químicas e de composição da norma brasileira para que determinado cimento receba a classificação de CP I encontram-se nos Quadros 2.1 e 2.2.

Quadro 2.1 - O cimento Portland comum na NBR 16697, exigências químicas e de composição.

Sigla	Classe de Resistência	Componentes (% em massa)			
		Clínquer + Sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material Carbonático
CP I	25	100		0	
	32				
	40				
CP I-S	25	99 - 95		1 a 5	
	32				
	40				

Fonte: (ABNT, 2018).

Quadro 2.2 - O cimento Portland comum na NBR 16697, exigências químicas e limites de composição.

Determinações químicas	Limites (% em massa)	
	CPI	CPI-S
Resíduo Insolúvel (RI)	≤1,0	≤5,0
Perda ao fogo (PF)	≤2,0	≤4,5
Óxido de Magnésio (MgO)	≤6,5	
Trióxido de Enxofre (SO ₃)	≤4,0	
Anidrido Carbônico (CO ₂)	≤1,0	≤3,0

Fonte: (ABNT, 2018).

Os requisitos físicos e mecânicos, determinados pela norma brasileira, do cimento Portland comum variam de acordo com a classe de resistência, propriedade que indica a resistência mínima à compressão após 28 dias de idade e que deve ser informada na embalagem do produto. As classes existentes para o CP I são 25,0 MPa, 32,0 MPa e 40,0 MPa, conforme indicado no Quadro 2.3. As demais propriedades (Quadro 2.4) nesse sentido são facultativas, devendo ser cumpridas apenas se solicitado pelo consumidor.

Quadro 2.3 - O cimento Portland comum na NBR 16697, exigências características.

Características e propriedades		Unidade	Limites de classe		
			25	32	40
Finura	Resíduo na peneira de 75 mm	%	≤12,0		≤10,0
	Área específica	m ² /kg	≥240	≥260	≥280
Tempo de início de pega		h	≥1		
Expansibilidade a quente		mm	≤5		
Resistência à compressão	3 dias de idade	MPa	≥8,0	≥10,0	≥15,0
	7 dias de idade	MPa	≥15,0	≥20,0	≥25,0
	28 dias de idade	MPa	≥25,0	≥32,0	≥40,0

Fonte: (ABNT, 2018).

Quadro 2.4 - O cimento Portland comum na NBR 16697, exigências facultativas

Características e propriedades	Unidade	Limites	
		CP I	CP I-S
Expansibilidade a frio	mm	≤5	
Tempo de fim de pega	h	≤10	
Teor de material pozolânico + escória + material carbonático	%	0	≤5

Fonte: (ABNT, 2018)

Cimento Portland Composto

A NBR 16697 (ABNT, 2018) define como cimento Portland composto o aglomerante hidráulico obtido por meio da moagem do clínquer Portland, ao qual se pode adicionar teores específicos de Pozolana (CP II Z), escória de alto forno (CP II E) e/ou materiais carbonáticos. As porcentagens em massa dessas adições variam de acordo com o tipo de cimento Portland Composto. Nos quadros 2.5 e 2.6 são sintetizadas as composições e exigências químicas para o CPII.

Quadro 2.5 - O cimento Portland composto o aglomerante hidráulico, componentes, NBR 16697.

Sigla	Classe de Resistência	Componentes (% em massa)			
		Clínquer + Sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material Carbonático
CP II E	25	94 a 56	6 a 34	-	0 a 10
	32				
	40				
CP II Z	25	94 a 76	-	6 a 14	1 a 10
	32				
	40				
CP II F	25	94 a 90	-	-	6 a 10
	32				
	40				

Fonte: (ABNT, 2018).

Quadro 2.6 - O cimento Portland composto limites químicos, NBR 16697.

Determinações químicas	Limites (% em massa)		
	CP II E	CP II Z	CP II F
Resíduo Insolúvel (RI)	≤2,5	≤16,0	≤2,5
Perda ao fogo (PF)	≤6,5		
Óxido de Magnésio (MgO)	≤6,5		
Trióxido de Enxofre (SO ₃)	≤4,0		
Anidrido Carbônico (CO ₂)	≤5,0		

Fonte: (ABNT, 2018).

A NBR 16697 (ABNT, 2018) também apresenta as exigências físicas para o CP II, de acordo com a classe de resistência (Quadro 2.7). Existem também propriedades facultativas, as quais também constam na NBR 16697 e encontram-se no Quadro 2.8.

Quadro 2.7 - O cimento Portland composto características e limites de classes, NBR 16697

Características e propriedades		Unidade	Limites de classe		
			25	32	40
Finura	Resíduo na peneira de 75 μ m	%	$\leq 12,0$	$\leq 12,0$	$\leq 10,0$
	Área específica	m ² /kg	≥ 240	≥ 260	≥ 280
Tempo de início de pega		H	≥ 1	≥ 1	≥ 1
Expansibilidade a quente		mm	$\leq 5,0$	$\leq 5,0$	$\leq 5,0$
Resistência à compressão	3 dias de idade	MPa	$\geq 8,0$	$\geq 10,0$	$\geq 15,0$
	7 dias de idade	MPa	$\geq 15,0$	$\geq 20,0$	$\geq 25,0$
	28 dias de idade	MPa	$\geq 25,0$	$\geq 32,0$	$\geq 40,0$

Fonte: (ABNT, 2018)

Quadro 2.8 - O cimento Portland composto características e limites facultativos, NBR 16697

Características e propriedades	Unidade	Limites de classe		
		25	32	40
Tempo de fim de pega	H	$\leq 10,0$	$\leq 10,0$	$\leq 10,0$
Expansibilidade a frio	Mm	≤ 5	≤ 5	≤ 5
Teor da escória	%	6 a 34	-	-
Teor de material pozolânico	%	-	6 a 14	-
Teor de material carbonático	%	0 a 10	0 a 10	1 a 10

Fonte: (ABNT, 2018)

Cimento Portland de alto-forno

É um “Aglomerante hidráulico obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland e escória granulada de alto-forno, moídos em conjunto ou em separado.”, conforme a NBR 16697 (ABNT, 2018). Nos Quadros 2,9 e 2.10 mostram-se as exigências de composição e químicas normatizadas no Brasil para a classificação de determinado cimento como sendo de alto-forno.

Quadro 2.9 - O cimento Portland de alto-forno componentes, NBR 16697

Sigla	Classe de Resistência	Componentes (% em massa)		
		Clínquer + Sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material Carbonático
CP III	25	65 a 25	35 a 70	0 a 5
	32			
	40			

Fonte: (ABNT, 2018)

Quadro 2.10 - O cimento Portland de alto-forno componentes químicos e limites, NBR 16697

Determinações químicas	Limites (% em massa)
Perda ao fogo (PF)	≤4,5
Resíduo Insolúvel (RI)	≤1,5
Trióxido de Enxofre (SO ₃)	≤4,0
Anidrido Carbônico (CO ₂)	≤3,0

Fonte: (ABNT, 2018)

Cimento Portland pozolânico

O cimento Portland pozolânico (CP IV) é definido pela NBR 16697 (ABNT, 2018) como “Aglomerante hidráulico obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland e materiais pozolânicos, moídos em conjunto ou em separado.”, embora seja permitida a adição de sulfato de cálcio e materiais carbonáticos durante a moagem. Os cimentos Portland do tipo IV devem ter composição e propriedades químicas conforme as apresentadas nos Quadros 2.11 e 2.12. As propriedades mecânicas que devem ser apresentadas pelo CP IV, bem como as facultativas, também são indicadas pela NBR 16697 (Quadros 2.13 e 2.14).

Quadro 2.11 - O cimento Portland pozolânico, resistência, NBR 16697.

Sigla	Classe de Resistência	Componentes (% em massa)		
		Clínquer + Sulfatos de cálcio	Material pozolânico	Material Carbonático
CP IV	25	85 a 45	15 a 50	0 a 5
	32			

Fonte: (ABNT, 2018)

Quadro 2.12 - O cimento Portland pozolânico limites de determinações química, NBR 16697

Determinações químicas	Limites (% em massa)
Perda ao fogo (PF)	≤4,5
Óxido de Magnésio (MgO)	≤6,5
Trióxido de Enxofre (SO ₃)	≤4,0
Anidrido Carbônico (CO ₂)	≤3,0

Fonte: (ABNT, 2018)

Quadro 2.13 - O cimento Portland pozolânico características, NBR 16697

Características e propriedades	Unidade	Limites de classe		
		25	32	
Finura (resíduo na peneira de 75 μ m)	%	$\leq 8,0$		
Tempo de início de pega	h	≥ 1		
Expansibilidade a quente	mm	≤ 5		
Resistência à compressão	3 dias de idade	MPa	$\geq 8,0$	$\geq 10,0$
	7 dias de idade	MPa	$\geq 15,0$	$\geq 20,0$
	28 dias de idade	MPa	$\geq 15,1$	$\geq 32,0$

Fonte: (ABNT, 2018)

Quadro 2.14 - O cimento Portland pozolânico resistência, NBR 16697

Características e propriedades	Unidade	Limites	
		CP I	CP I-S
Resistência à compressão aos 91 dias de idade	MPa	≤ 32	≤ 40
Tempo de fim de pega	H	≤ 12	
Expansibilidade a frio	Mm	≤ 5	

Fonte: (ABNT, 2018)

Cimento Portland de alta resistência inicial

Classificado como CP V pela NBR 16697 (ABNT, 2018), o Cimento Portland de alta resistência inicial é definido na norma como um “aglomerante hidráulico que atende às exigências de alta resistência inicial, obtido pela moagem de clínquer Portland, constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio hidráulicos, ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais carbonáticos”.

As exigências de composição e propriedades químicas para que determinado cimento seja classificado como CP V são mostradas nos Quadros 2.15 e 2.16. Ainda de acordo com a NBR 5733, o CP V deve atender às propriedades físicas e mecânicas apresentadas nos Quadros 2.17 e 2.18.

Quadro 2.15 - O cimento Portland de alta resistência inicial, propriedades químicas, NBR 16697

Sigla	Componentes (% em massa)	
	Clínquer + Sulfatos de cálcio	Material Carbonático
CP V	100 a 95	0 a 5

Fonte: (ABNT, 2018)

Quadro 2.16 - O cimento Portland de alta resistência inicial, propriedades químicas, NBR 16697.

Determinações químicas		Limites (% em massa)
Resíduo Insolúvel (RI)		≤1,0
Perda ao fogo (PF)		≤4,5
Óxido de Magnésio (MgO)		≤6,5
Trióxido de Enxofre (SO ₃)	Quando C3A do clínquer ≤ 8%	≤3,5
	Quando C3A do clínquer > 8%	≤4,5
Anidrido Carbônico (CO ₂)		≤3,0

Fonte: (ABNT, 2018)

Quadro 2.17 - O cimento Portland de alta resistência inicial, propriedades físicas e mecânicas, NBR 16697

Características e propriedades		Unidade	Limites
Finura	Resíduo na peneira de 75 μ m	%	≤6,0
	Área específica	m ² /kg	≥300
Tempo de início de pega		h	≥1
Expansibilidade a quente		mm	≤5,0
Resistência à compressão	1 dia de idade	MPa	≥14,0
	3 dias de idade	MPa	≥24,0
	7 dias de idade	MPa	≥34,0

Fonte: (ABNT, 2018)

Quadro 2.18 - O cimento Portland de alta resistência inicial, propriedades físicas e mecânicas, NBR 16697

Características e propriedades	Unidade	Limites
Expansibilidade a frio	mm	≤5
Teor da material carbonático	%	≤5
Tempo de fim de pega	h	≤10

Fonte: (ABNT, 2018)

2.4 Concreto

Concreto é uma mistura entre ligantes ou aglomerantes, com agregados de variadas granometrias e composições geológicas e água também em variadas composições químicas. As proporções e tipos, entre esses irão definir suas características. Sendo essas características que definirão as suas mais variadas aplicações.

2.4.1 Características do concreto

Resistência

Resistência à abrasão, característica influenciada pela tipologia dos agregados, tanto pela dureza como a inter-relação dos tamanhos destes. Na inter-relação dos tamanhos busca-se o menor percentual de vazios entre os agregados, aumentando o desempenho do aglomerante no envolvimento dos grãos, os ligando de forma mais efetiva, proporcionando superfícies mais lisas. Quanto mais lisa à superfície do concreto menor o arranhamento ou rompimento dos grãos dos agregados.

Resistência mecânica, por muitos, considerada a propriedade fundamental, por dar uma indicação geral da sua qualidade tecnológica. A variedade de fatores que interferem na preparação, transporte, lançamento e cura do concreto, sua resistência mecânica apresenta-se influenciada por diferenças mínimas entre esses fatores. Destacando-se a resistência à compressão, que vem sendo tradicionalmente utilizada como parâmetro principal de dosagem e controle da sua qualidade do concreto nos projetos de edificações e obras de arte. Enquanto a resistência à tração por flexão, mais comum em projetos de pavimentação em concreto (TUTIKIAN, 2004).

No Brasil, a resistência do concreto à compressão é estudada por meio de ruptura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos, em ensaios de curta duração realizados em laboratórios. Tais corpos de prova devem ser moldados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2016) e rompidos conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018).

A partir dos ensaios acima, deve-se definir qual a resistência a ser utilizada como a verdadeira para aquele concreto. Há de se organizar os resultados em uma distribuição de frequência, que se aproxima de uma curva normal, dessa forma, obter um valor apropriado para a resistência do concreto. Normalmente, utiliza-se como resistência característica aquela abaixo da qual só corresponde um total de 5% dos resultados obtidos (ou seja, um valor com 95% de probabilidade de ocorrência).

Adensabilidade

A NBR 15900-1 (ABNT, 2009a) detalha alguns pré-requisitos para a água de amassamento do concreto, apontando a água de abastecimento público como ideal para esse fim, visto que não há a necessidade de ensaiá-la antes. Para os efluentes proveniente de ETEs a norma é inconclusiva, estabelecendo apenas que até o momento de sua publicação não se tinha dados suficientes para concluir algo sobre a viabilidade do uso generalizado dessa água na produção de concreto. Isso ressalta a necessidade do desenvolvimento de estudos nessa área.

O adensamento do concreto tem como objetivo preencher os vazios formados durante o lançamento do material, retirando o ar aprisionado em seu interior. Segundo Silva (1991), a adensabilidade é a capacidade de expulsão do ar e da água através da vibração do concreto, manual ou mecanicamente, para diminuir o número de vazios e obter uma maior compactação no mesmo, o que implica em um ganho de resistência. Há um ponto ótimo para a vibração, o que gera uma redução satisfatória do número de vazios, sem haver a segregação dos componentes.

Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é uma característica do concreto que pode ser vista como mais subjetiva do que física (BAUER, 1997). Essa característica determina a capacidade de um concreto de se moldar ao espaço a qual é lançado, sem sofrer desagregação de seus componentes. Os fatores que podem alterar sua consistência dependem do tipo de obra a qual o concreto está sendo utilizado, sendo sua mensuração pequena ou grande para aquele projeto; esses fatores de influência são: teor de $\frac{\text{água}}{\text{materiais secos}}$, granulometria dos agregados e forma dos grãos, aditivos utilizados, tempo de cura e temperatura (SILVA, 1991).

Durabilidade

Segundo Bauer (1997), a durabilidade dos elementos construtivos de concreto simples, armado e protendido pode ser definida como a capacidade de resistir à eventuais ataques de agentes agressivos a que estejam sujeitos durante a sua vida útil de serviço. A durabilidade depende, portanto, do tipo de ataque, físico ou químico, a que o concreto será submetido, devendo ser analisados criteriosamente antes da escolha dos materiais, da dosagem do concreto e do método construtivo da peça analisada. Ao que se entende por à

abrasão ou erosão, a durabilidade estará diretamente ligada à resistência do concreto analisado (RODRIGUES, 1998).

Permeabilidade

Permeabilidade é a propriedade segundo a qual o concreto retém a água nos poros e condutos capilares (SILVA, 1991). Esse é um fator importante, pois mesmo no caso em que não haja necessidade de impermeabilização do concreto, a penetração da água pode carrear agentes oxidantes para a armadura, prejudicando o concreto. Um concreto bem dosado é impermeável por si só, mesmo que o concreto seja um material obrigatoriamente poroso (BAUER, 1997). Porém, a sua colocação, se bem vibrado e despejado em camadas horizontais finas e contínuas, vai definir se esse será mais ou menos impermeável. Aditivos impermeabilizantes são recomendados em certos casos, devendo-se antes testar os efeitos destes sobre a resistência do concreto

2.4.2 Agregados

Pela NBR 9935 (ABNT, 2011), agregado é definido como “Material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto”. Estes desempenham uma função econômica da máxima importância - pois geralmente é o elemento de custo mais baixo por unidade, de volume no concreto e no concreto betuminoso, devendo ter sua fração do traço observada para a melhoria no custo final. O agregado atua de forma decisiva no incremento de certas propriedades, tais como: a redução da retração (relevante na pasta de cimento), aumento da resistência aos desgastes (abrasão), entre outras. Pode-se classificar os agregados quanto à origem, às dimensões e à massa unitária. Segundo Rodrigues (1998), os agregados possuem as seguintes finalidades no concreto:

- Transmitir as tensões aplicadas ao concreto através de seus grãos. Geralmente, a resistência à compressão dos agregados é superior à do concreto;
- Reduzir o efeito das variações volumétricas ocasionadas pela retração (redução de volume por escape de água). Nessa lógica, quanto maior o teor de agregados em relação à pasta de cimento, menor será a retração;
- Reduzir o custo do concreto, pelo motivo citado anteriormente

2.4.3 Classificação dos agregados

Agregado graúdo (C_g)

Conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009k), agregado graúdo é o pedregulho (cascalho ou seixo rolado) natural ou a brita proveniente de rochas estáveis (cúbicos, rugosos ou lamelares), ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha com abertura nominal de 75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm.

Agregado miúdo (C_m)

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009k), agregado miúdo é a areia de origem natural quartzosa ou artificial resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150mm. Os agregados miúdos têm influência preponderante sobre a plasticidade do concreto, devido a sua característica de possuir uma elevada área específica. Plasticidade é a propriedade física de um corpo mudar de forma de modo irreversível, ao ser submetido a uma tensão.

Uma areia adequada não deve conter grãos de um único tamanho, ou seja, deve-se procurar adquirir agregados com boa distribuição granulométrica, de continuidade. A quantidade de água no concreto é um fator importante que condiciona inclusive a resistência e durabilidade da estrutura. Dessa forma, é importante considerar a quantidade de água presente na areia (umidade) na dosagem do concreto. Esse valor é significativo, pois cerca de 70% do volume do concreto é ocupado pelos agregados. Qualquer alteração do seu teor na mistura irá provocar alterações significativas no consumo de água e, conseqüentemente, no consumo de cimento, a fim de manter a proporção estabelecida inicialmente. Alterações no consumo de areia refletem diretamente no custo final do concreto produzido, haja vista ser o cimento o insumo mais caro.

Módulo de Finura (MF)

Segundo a NM 248 (ABNT, 2003), é a soma das percentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100. Quanto maior for o MF, mais grosso será o agregado. O módulo de finura é uma grandeza adimensional e deve ser apresentada com aproximação de 0,01.

Massa Específica(ρ)

Também chamada de massa específica absoluta, é a razão entre a massa de uma quantidade dessa substância e o seu volume correspondente, excluindo-se o volume de vazios entre as partículas componentes da substância. Sua análise é feita através das NBR 9936 (agregado miúdo) (ABNT, 2013) e NBR NM 53 (agregado graúdo) (ABNT, 2009I).

Dimensão Máxima Característica (DMC)

Segundo a NM 248 (ABNT, 2003), é a grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

Massa Unitária

Também chamada de massa específica aparente, a massa unitária de uma substância é a razão entre a massa de uma quantidade dessa substância e o seu volume correspondente, considerando-se o volume de vazios. A massa unitária pode ser medida no estado solto ou compactado da substância, variando assim em relação a sua compactidade e grau de adensamento do agregado (BAUER, 1997).

2.4.4 Tipos de concreto

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015), concreto de cimento Portland é definido como o material formado pela mistura homogênea de cimento, agregado miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, metacaulim ou sílica ativa), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água).

Concreto convencional

O concreto convencional simples é obtido pela mistura de cimento com água formando a pasta de cimento. Sendo adicionado o agregado miúdo (areia), obtendo-se a argamassa de cimento e adicionando o agregado graúdo (pedra britada), tem-se o concreto simples (FUSCO, 2008). Assim, concreto convencional não possui aditivos ou outros materiais que visem a melhorias de suas propriedades padrões.

Concreto armado

Concreto armado é produzido a partir da adição de armaduras (barras de aço) ao concreto convencional. Essa junção é feita com o objetivo de proporcionar ao concreto uma boa resistência tanto a compressão quanto a tração, visto que o aço apresenta boa resistência a tração enquanto o concreto apresenta boa resistência a compressão.

Concreto protendido

A protensão do concreto é entendida como a técnica de inserir cabos de aço no interior do material (ancoramento) que sofrem tensões prévias, permitindo que o concreto pronto tenha um melhor desempenho.

Concreto pré-fabricado

Concreto pré-fabricado ou pré-moldado são as peças de concreto fabricadas fora do local da obra, normalmente em indústrias especializadas. Esse tipo de concreto garante uma maior agilidade para a obra, uma vez que as peças são apenas transportadas e montadas no local da obra. Além disso, o material utilizado normalmente tem uma qualidade e controle melhor por ter sido fabricado através de processos industriais.

Concreto auto adensável

O CAA teve seu desenvolvimento no Japão por Hajime Okamura no final da década de 80, tinha como principal função diminuir a deficiência de mão de obra qualificada para a execução dos serviços de concretagem, permitindo o adensamento do concreto sem a necessidade de trabalho humano. Os engenheiros japoneses notaram que a falta de adensamento do concreto convencional (CCV) gerava patologias que afetavam a durabilidade das estruturas. O uso do CAA seja na fabricação de pré-moldados e pré-fabricados ou na aplicação em obras é evidente e crescente no mundo inteiro (REPETTE, 2011).

Concreto de alto desempenho

Os concretos de alto desempenho (CADs) normalmente são utilizados em obras de grande porte onde se deseja um material de maior resistência e durabilidade. Isto porque nesse tipo de concreto são utilizados aditivos que garantem ao material menores índices de porosidade e permeabilidade, tornando-o mais resistente a agentes agressivos como sulfetos, sulfatos, maresia, dentre outros.

2.4.5 *Dosagem de concreto*

Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), estudo de dosagem de concreto é definido como o conjunto de procedimentos necessários à obtenção do traço do concreto para atendimento dos requisitos especificados pelo projeto estrutural e pelas condições da obra. Dessa forma, entende-se por dosagem de concreto a relação entre seus materiais constituintes de forma adequada.

2.4.6 *Parâmetros de dosagem experimental*

Para a realização da dosagem experimental do concreto são necessárias definições de parâmetros iniciais aos quais o concreto final deva atender. Um dos principais parâmetros definidos é a relação água/cimento.

2.4.7 *Fixação da relação água/cimento - Fator água/cimento*

É fixada uma relação de água/cimento de acordo com critérios preestabelecidos aos quais o concreto produzido deva atender, por exemplo, durabilidade ou resistência mecânica.

Consumo inicial da água (Ca)

Pelo método de dosagem de concreto do IBRACON, o consumo inicial de água é definido de acordo com a consistência ou abatimento desejado. Assim, o consumo de água em litros/m³ obedece ao disposto na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Adoção do consumo de água por m³ de concreto em função do abatimento e da Dimensão Máxima Característica (DMC) do agregado utilizado na produção do concreto.

Consumo de água aproximado (l/m ³)					
Abatimento (mm)	D _{máx} agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Rodrigues (1998).

Consumo inicial de cimento (Cc)

Como a relação água/cimento já foi fixada, o consumo de cimento será então função do consumo de água, conforme a seguinte fórmula:

$$\text{Consumo de cimento} = \frac{\text{Consumo de água}}{\text{relação água/cimento}}$$

Consumo inicial de agregado graúdo (Cg)

Existe também uma tabela como referência para a determinação do volume de agregado graúdo por m³ de concreto a partir do módulo de finura (MF) e Dimensão máxima (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Volume compactado seco (Vpc) por m³ de concreto em função do Módulo de Finura (MF) e da Dimensão Máxima Característica (DMC).

Volume seco compactado (Vpc)					
Módulo de finura (MF)	DMC do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
1,8	0,645	0,77	0,795	0,82	0,845
2	0,625	0,75	0,775	0,8	0,825
2,2	0,605	0,73	0,755	0,78	0,805
2,4	0,585	0,71	0,735	0,76	0,785
2,6	0,565	0,69	0,715	0,74	0,765
2,8	0,545	0,67	0,695	0,72	0,745
3	0,525	0,65	0,675	0,7	0,725
3,2	0,505	0,63	0,655	0,68	0,705
3,4	0,485	0,61	0,635	0,66	0,685
3,6	0,465	0,59	0,615	0,64	0,665

Fonte: Rodrigues (1998).

A partir da determinação do volume de agregado graúdo por m³ de concreto, o consumo de agregado graúdo é obtido a partir da seguinte fórmula:

$$C_g = Vb \times Mu$$

Onde:

Cg = Consumo inicial de agregado graúdo;

Vb = Volume de agregado graúdo obtido pela tabela;

Mu = Massa unitária do agregado graúdo.

Consumo inicial de agregado miúdo (C_m)

Por último, o consumo de agregado miúdo é obtido em função de todos os outros consumos de materiais, conforme a seguinte fórmula:

$$V_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_g}{\gamma_g} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right)$$

Onde:

V_m = Volume de agregado graúdo;

C_c = Consumo inicial de cimento;

C_g = Consumo inicial de agregado graúdo;

C_a = Consumo inicial de água;

γ_c = Peso específico do cimento;

γ_g = Peso específico do agregado graúdo;

γ_a = Peso específico da água.

$$C_m = V_m \times \gamma_m$$

Onde:

C_m = Consumo inicial de agregado miúdo;

V_m = Volume de agregado miúdo calculado;

γ_m = Peso específico do agregado miúdo.

2.4.8 *Tempo de Pega*

Início de pega

Segundo a NBR 16607 (ABNT, 2017) é definido como “Intervalo de tempo transcorrido desde o momento em que o cimento entra em contato com a água até o momento em que a agulha de Vicat penetra na pasta e estaciona a (6 ± 2) mm da placa-base do molde tronco-cônico, em condições normalizadas de ensaio.”

Fim de pega

Ainda pela NBR 16607 (ABNT, 2017), tempo de fim de pega é definido como “Intervalo de tempo transcorrido desde o momento em que o cimento entra em contato com a

água até o momento em que a agulha de Vicat penetra 0,5 mm na pasta, em condições normalizadas de ensaio.”

2.4.9 Traço do concreto

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015), traço ou composição do concreto é definido como “Expressão das quantidades, em massa ou volume, dos vários componentes do concreto (geralmente referido ao cimento). O traço também pode ser expresso em quantidades de materiais por metro cúbico de concreto.”

2.4.10 Cura do concreto

Entende-se por cura do concreto, os procedimentos que devem ser realizados para evitar ou minimizar a evaporação da água de amassamento utilizada na produção do concreto, visando assim, permitir a hidratação adequada do cimento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Análises da inibição microbiana no esgoto bruto na presença do (AACP)

3.1.1 Fornecimento de esgoto bruto

A observação em laboratório, do decaimento da vida microbiana, quando da constatação da presença de um Agente Antimicrobiano no Cimento Portland (AACP). Direcionou os ensaios objetivando avaliar o decaimento microbiano quando aplicado AACP em esgoto bruto. Optou-se em usar esgoto bruto, para promover no experimento uma situação mais desfavorável, comparada ao esgoto tratado, quanto da aplicação do AACP.

A realização dos ensaios para as análises da inibição microbiana no esgoto bruto, quando submetidos à presença da Ação Antimicrobiana do Cimento Portland(AACP), iniciou-se com as coletas. As primeiras quatro amostras de esgoto bruto para as análises de inibição microbiana foram coletadas na estação de tratamento de esgoto do Campus do Pici (ETE-PICI) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Segundo Mota (2016), essa estação recebe águas residuárias que apresentam características de esgoto doméstico. A quinta amostra, com esgoto bruto da Estação de Pré-condicionamento de Esgoto (EPC) de Fortaleza, determinando-se Coliformes Totais e Termotolerantes, e Bactérias Heterotróficas.

Os ensaios microbiológicos foram realizados no Laboratório do Núcleo de Tecnologia de Alimentos (NUTEA) da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC). Foram realizadas as cinco séries de ensaios no laboratório. O primeiro ensaio ocorreu no dia 17 de novembro de 2016, o segundo em 11 de janeiro de 2017, o terceiro e quarto no dia 15 de fevereiro de 2017, esses com amostras da ETE-PICI e o quinto no dia 09 de maio de 2018, com amostra da EPC.

3.1.2 Coleta e preparação das amostras

A coleta foi feita na chegada do esgoto bruto da estação de tratamento da ETE-PICI e da EPC. O método de coleta utilizado foi o de águas superficiais, utilizando-se de um recipiente limpo para coletar a água, que depois foi transportada para frascos de amostragem esterilizados, onde a água era despejada por meio de um funil, para evitar o contato com o operador. Logo após, os frascos foram lacrados e levados imediatamente para o laboratório.

Foi realizada uma assepsia nos frascos das amostras levados ao laboratório, com algodão embebido em etanol a 70%, para garantir a segurança nos testes.

Na determinação quantitativa dos Coliformes Totais e Termotolerantes, aplicou-se a técnica tubos múltiplos, Número Mais Provável (NMP): POT08MBA/LC - ver.04, *American Public Health* (APHA), Standard methods for the examination of water&wastewater. 22st edition 2012. 9.65-76 (9221).

As Bactérias Heterotróficas tiveram a determinação quantitativa pela técnica de inoculação em profundidade: POT07MBA/Lc - ver.04. *American Public Health* (APHA), Standard methods for the examination of water&wastewater. 22st Edition 2012. 9.49.54 (9215B).

Na preparação das análises levou-se em conta a proporção no fator água-cimento = 1,0, ou seja, esgoto bruto/cimento = 1,0. A reduzida quantidade de cimento foi para evitar a formação de uma pasta, o que inviabilizaria a análise em questão no laboratório. Desta forma, realizaram-se os ensaios a favor da segurança, observando que no concreto aplicam-se fatores água/ cimento inferiores, o que proporciona uma maior quantidade de cimento, aumentando o efeito de decaimento promovido pelo AACCP.

O cimento Portland composto foi utilizado, de acordo com NBR 16697 (ABNT, 2018), que define como cimento Portland composto o aglomerante hidráulico obtido por meio da moagem do clínquer Portland, ao qual se pode adicionar teores específicos de Pozolana (CP II Z), escória de alto forno (CP II E) e/ou materiais carbonáticos. Foi utilizado para o ensaio do dia 17 de novembro de 2016 o CP II - E - 32. Em todos os demais ensaios usou-se o CP II - Z - 32. Ressalta-se que foram usados os mesmo cimentos Portland composto CP II para todos os ensaios, mas para cada ensaio foi utilizado cimento de fabricante diferente.

Nos ensaios, sempre foram utilizadas as amostras de controle na avaliação do decaimento microbiano, com o esgoto bruto sem a aplicação do cimento/AACP, no tempo Zero e no tempo 30 minutos. As amostras dos esgotos bruto com aplicação do Cimento/AACP foram realizadas simultaneamente às do esgoto bruto para o tempo 30 minutos.

Prepararam-se três Becker; em apenas um colocou-se 100g de cimento/AACP, ficando os outros dois vazios. O ensaio iniciou-se com aplicação do esgoto bruto aos três Becker ao mesmo tempo. Imediatamente uma das amostras sem Cimento/AACP, no tempo Zero foi avaliada. As outras duas ficaram sendo agitadas por 30 minutos, utilizando um bastão de vidro esterilizado, com a mesma intensidade. Desta forma, no final dos 30 minutos foram

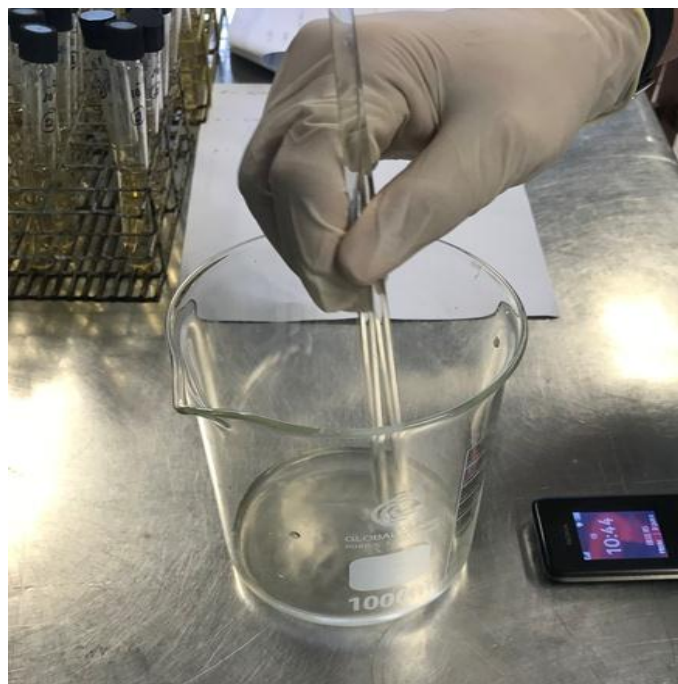
obtidas duas amostras, uma com esgoto bruto sem cimento/AACP e outra com esgoto bruto com Cimento/AACP (Figuras de 3.1 a 3.4).

Figura 3.1 - Procedimentos para as análises microbiológicas. Becker um com cimento/AACI e outro vazio. Os dois receberam 100mL de esgoto bruto, para serem avaliados no tempo 30 min. Fortaleza, Ceará. 2017.



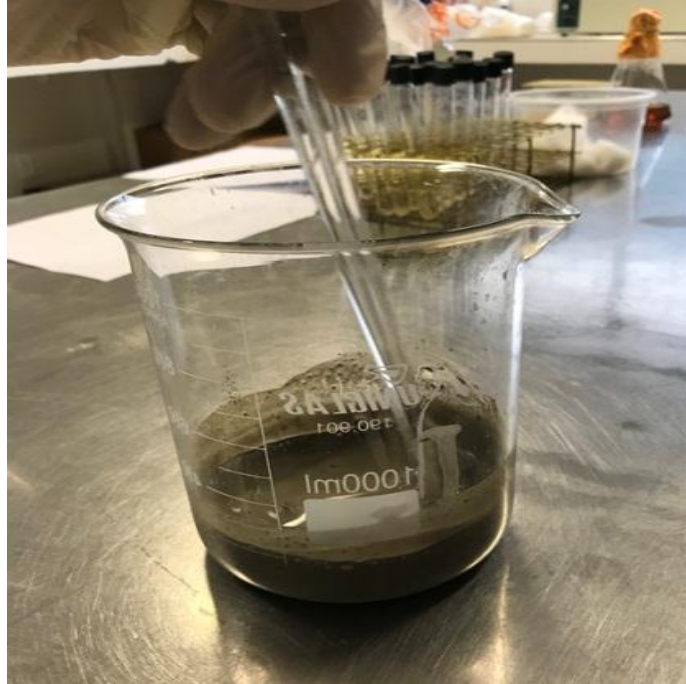
Fonte: O autor (2018)

Figura 3.2 - Procedimentos para as análises microbiológicas. Becker sem cimento/AACI, recebeu 100 mL de esgoto bruto e ficou sendo agitado pelo tempo de 30 min. Fortaleza, Ceará. 2017.



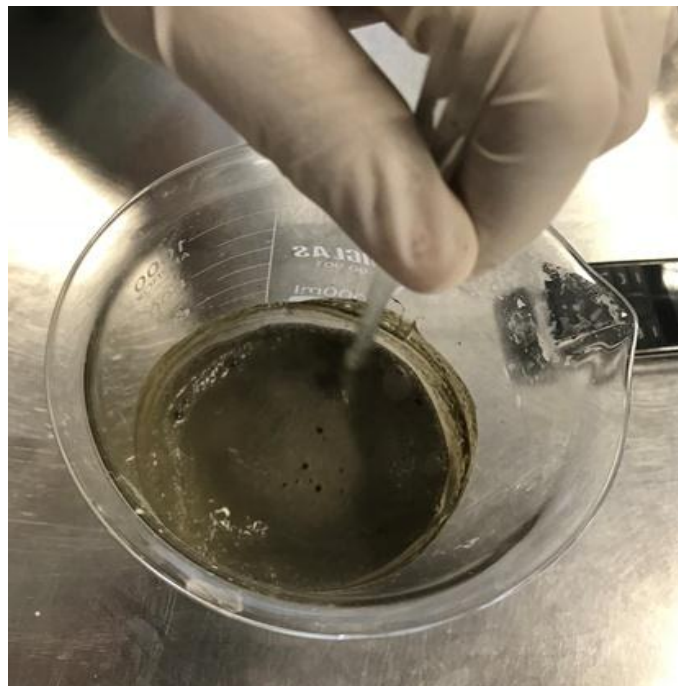
Fonte: O autor (2018)

Figura 3.3 - Procedimentos para as análises microbiológicas. Becker com cimento/AACI, recebeu 100 mL de esgoto bruto e ficou sendo agitado pelo tempo de 30 min. Fortaleza, Ceará. 2017.



Fonte: O autor (2018)

Figura 3.4 - Procedimentos para as análises microbiológicas. Becker com cimento/AACI, recebeu 100 mL de esgoto bruto e ficou sendo agitado pelo tempo de 30 min. Fortaleza, Ceará. 2017.



Fonte: O autor (2018)

Assepticamente, foi realizada a diluição de três amostras, uma no tempo Zero e duas no tempo 30 minutos. Esse processo se deu pela transferência de 1 mL da amostra para um tubo de ensaio contendo 9 mL de água peptonada (diluição 1×10^{-1}). Em seguida, retirou-se 1 mL da diluição 1×10^{-1} homogeneizada e transferiu-se para outro tubo de ensaio contendo 9 mL de água peptonada (diluição 1×10^{-2}). Esse procedimento se repetiu na obtenção das diluições 1×10^{-3} e 1×10^{-4} .

Codificou-se a série de 5 tubos caldo A1 em concentração simples referente à diluição 10^{-1} , 5 tubos contendo caldo A1 em concentração simples referente à diluição 10^{-2} , 5 tubos contendo caldo A1 em concentração simples referente à diluição 10^{-3} , e 5 tubos contendo caldo A1 em concentração simples referente à diluição 10^{-4} .

Diretamente da diluição 10^{-1} fez-se as inoculações com pipeta esterilizada de 5mL ou 2mL volumes de 1mL na primeira série de 5 tubos contendo caldo A1 em concentração simples, referente à diluição 10^{-1} .

Com outra pipeta esterilizada de 5mL ou 2mL a partir do diluente 10^{-2} , pipetaram-se volumes de 1mL na segunda série de 5 tubos contendo caldo lactosado simples de 10mL; realizou-se o mesmo procedimento com as diluições 10^{-3} e 10^{-4} .

Incubaram-se os tubos a 35° , com variação de mais ou menos 1°C por 3 horas, em estufa bacteriológica;

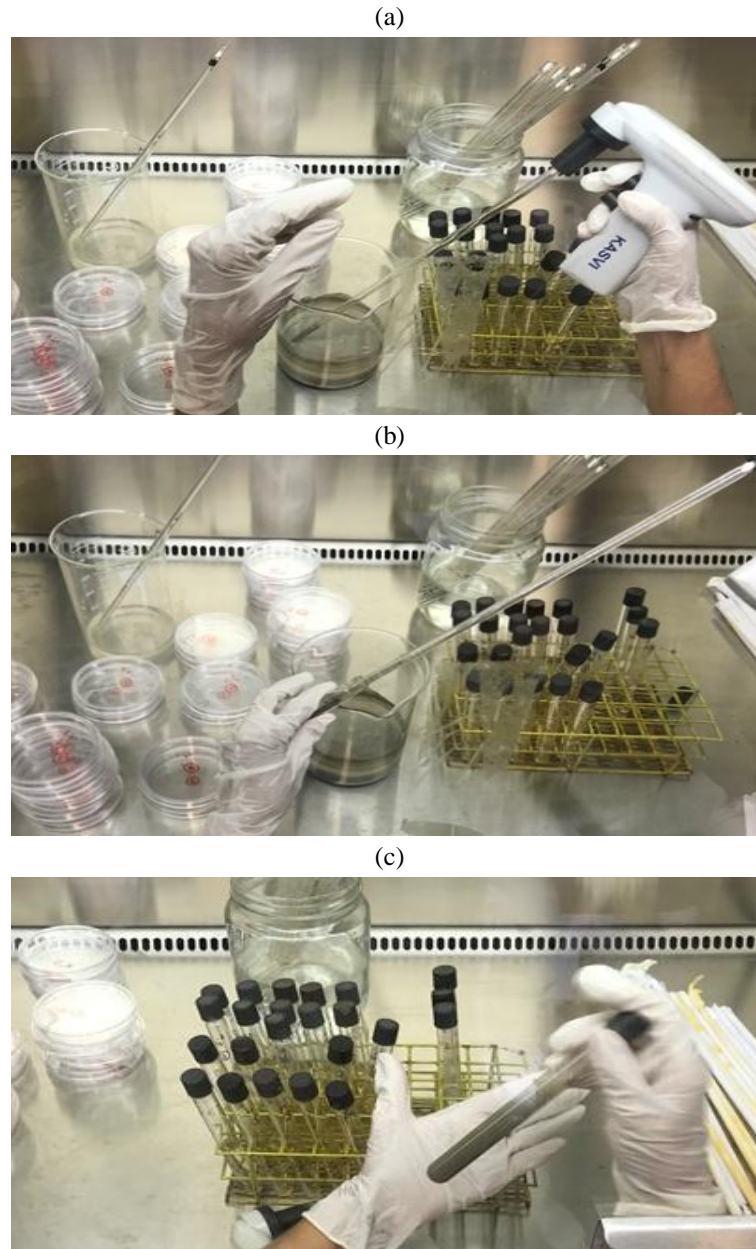
Após incubação, os tubos foram incubados a $44,5^{\circ}$, com variação de mais ou menos $0,2^{\circ}\text{C}$, por 21 horas, com variação de mais ou menos 2 horas em banho-maria com agitação ou circulação de água.

A leitura da presença de termotolerantes foi confirmada pela formação de gás (mínimo 1/10 do volume total do tubo de Durham). Anotou-se o resultado obtido para cada tubo e consultou-se a Tabela do NMP.

A densidade de coliformes termotolerantes é expressa como NMP por 100mL, o qual foi obtido através da tabela do NMP, em que são dados os limites de confiança de 95% para cada valor determinado.

Nas Figuras 3.5(a,b,c) mostram-se detalhes dos procedimentos para as análises microbiológicas na determinação quantitativa dos Coliformes Totais e Termotolerantes, aplicando-se a técnica tubos múltiplos, Número Mais Provável (NMP):.

Figura 3.5 - Detalhes dos procedimentos para as análises microbiológicas. (a) Peptonada esgoto bruto misturado ao AACP; (b) A mistura transferida aos tubos de ensaio; (c) Mistura com AACP homogeneizada. Fortaleza, Ceará. 2017.



Fonte: O autor (2018)

Nas Figuras 3.6(a,b,c) mostram-se detalhes dos procedimentos para as análises microbiológicas. As bactérias heterotróficas tiveram a determinação quantitativa pela técnica de inoculação em profundidade.

Figura 3.6 - Detalhes dos procedimentos para as análises microbiológicas. (a) Placa inoculada; (b) Colocação meio de ágar padrão para contagem PCA; (c) Colocação meio de ágar padrão para contagem PCA. Fortaleza, Ceará. 2017.



Fonte: O autor (2018)

3.1.3 Descrição das análises microbiológicas

Foram realizadas cinco análises microbiológicas com amostras de esgoto bruto. Para cada análise, as amostras de esgoto bruto foram analisadas duas sem ação antimicrobiana do cimento/AACP, uma no tempo Zero e a outra no tempo 30 minutos. Uma terceira análise foi realizada com o mesmo esgoto bruto submetido à ação antimicrobiana do cimento/AACP.

Foram realizadas contagens de culturas para bactérias heterotróficas e de número mais provável (NMP) para coliformes termotolerantes, com as diluições para cada uma das amostras utilizando o método de contagem em placas.

Na primeira análise, foram utilizadas duas amostras, ambas contendo 100 mL de esgoto bruto acrescidos de 100 g de cimento, deixando a mistura em contato por 30 e 60 minutos. Na segunda, terceira, quarta e quinta análises, foi utilizado o mesmo método: duas amostras, deixando a mistura em contato por apenas 30 minutos. Observe-se que não se realizaram mais amostras de 60 minutos, pois se mostraram desnecessárias, uma vez, que aos 30 minutos ou menos já se atingiu a ação antimicrobiana desejada.

Na segunda, terceira, quarta e quinta análises, o efluente passou a ser analisado uma segunda vez após 30 minutos da primeira verificação quantitativa com amostras de 100 ml, sem aplicação do cimento/AACP, comparando-a com a de tempo Zero, para verificar se houve uma possível redução, visto a possibilidade de uma variação dos microrganismos presentes, que poderia ser atribuída à competição ou predação entre microrganismos da amostra.

3.1.4 Análises estatísticas

Foi adotado o método do número mais provável (NMP), que permite estimar a densidade de microrganismos viáveis presentes em uma amostra sob análise. Esta técnica não permite a contagem fixa de células viáveis ou de unidades formadoras de colônias e deve ser realizada seguindo etapas analíticas. Inicialmente, deve-se realizar o teste presuntivo, através da leitura dos resultados obtidos na série de tubos múltiplos, e, posteriormente, deve ser feito o teste confirmatório. Por fim, deve ser feito o teste completo, baseado na probabilidade estatística com que ocorre a frequência de resultados positivos mais prováveis em função do número real de microrganismos presentes. A presença de coliformes termotolerantes é confirmada pela produção de gás em um mínimo de 1/10 do volume total do tubo Durhan.

Os ensaios foram realizados visando identificar a presença e a quantidade mais provável de coliformes termotolerantes presentes nas amostras de esgoto bruto e comparar com a presença e quantidade mais provável de coliformes termotolerantes nas amostras contendo as misturas de esgoto com os diferentes tipos de cimento.

Os resultados obtidos foram anotados e comparados com a Tabela do NMP (NMP/100 mL), uma tabela que expressa resultados para a presença de coliformes termotolerantes para inóculos de 10 mL, 1,0 mL e 0,1 mL e seus respectivos intervalos de

confiança. Essas diluições são normalmente utilizadas para ensaios com águas tratadas, pois apresentam um número reduzido de microrganismos presentes.

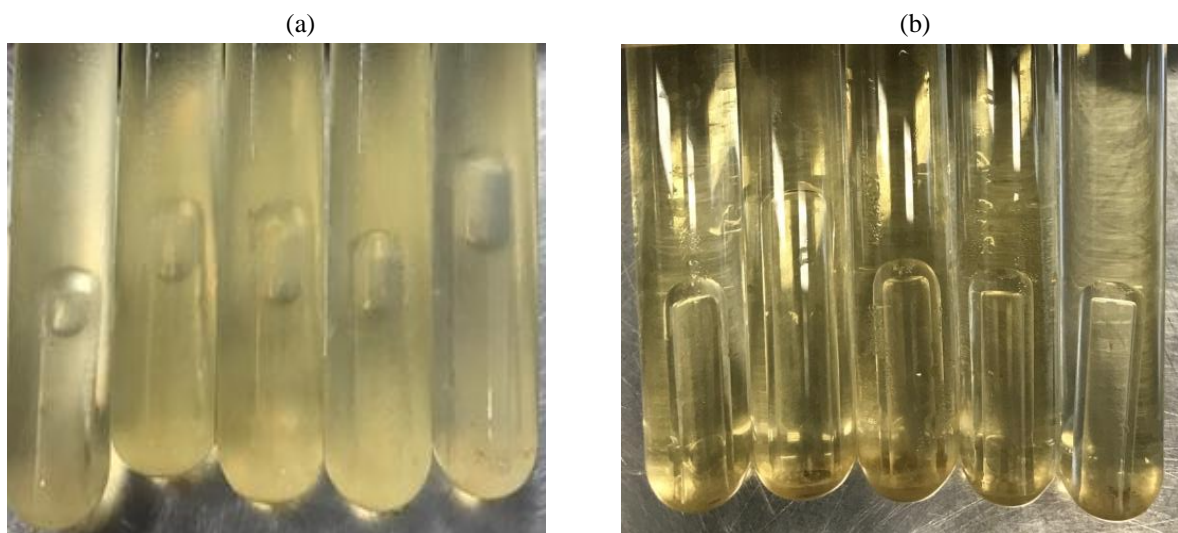
Os ensaios do presente estudo foram realizados com amostras de esgoto bruto, retiradas imediatamente antes do processo de tratamento. Portanto, em virtude da presença significativa de microrganismos nessas amostras, optou-se por realizar inoculações de 1×10^{-1} mL, 1×10^{-2} mL, 1×10^{-3} mL e 1×10^{-4} mL.

Dos resultados obtidos, foi excluído um e os três mais representativos foram utilizados na consulta da tabela. Em regra, o resultado encontrado na tabela utilizando esse procedimento deve ser multiplicado pelo inverso do valor da diluição do inóculo intermediário.

Na Figura 3.7 mostram-se tubos Durhan. Na (a) mostra-se a presença de gases, indicando Coliformes termotolerantes, enquanto a (b), mostra ausência de gases, ou seja, não há presença a proliferação microbiana dos Coliformes termotolerantes.

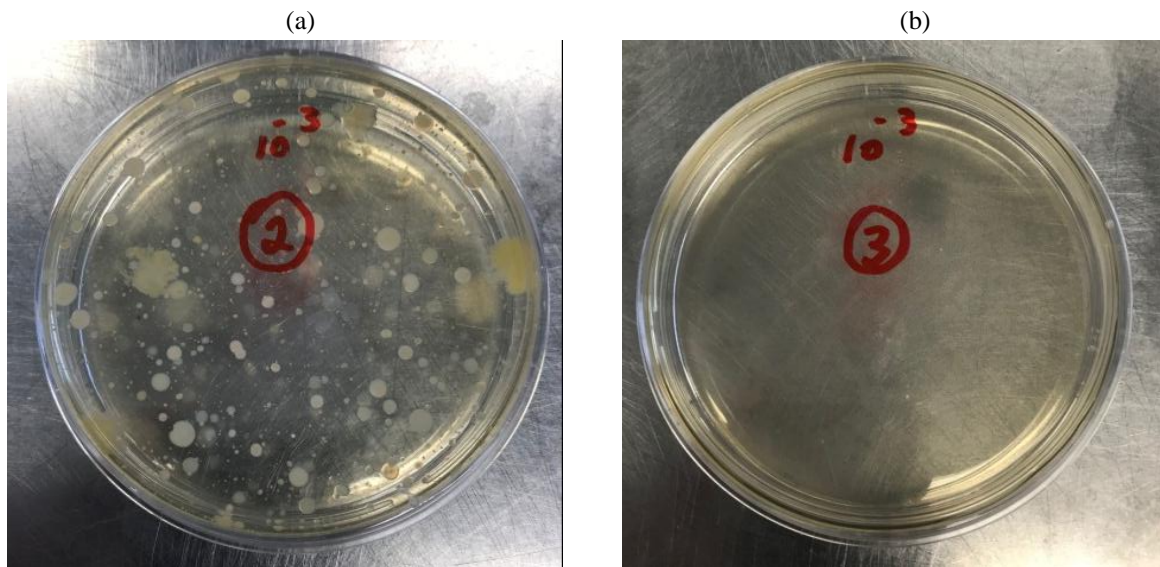
A Figura 3.8 mostra: (a) a placa inoculada com esgoto bruto (técnicas do “*Pourplate*”) apresentando colônias microbianas de bactérias heterotróficas; (b) a placa também inoculada com esgoto bruto, não se desenvolvendo qualquer tipo de colônias microbianas de bactérias heterotróficas. Os resultados foram expressos como Unidades Formadoras de Colônias (UFC)/mL.

Figura 3.7 - Tubo Durhan - (a) Esgoto bruto com coliformes termotolerantes confirmados pela produção de gás, (b) Esgoto bruto não há produção de gás, indicando ausência de microrganismos. Fortaleza, Ceará. 2017.



Fonte: Autor (2018)

Figura 3.8 - Placas inoculadas (técnicas do “Pourplate”) com esgoto bruto; (a) placa com incontáveis colônias de bactérias; (b) placa onde não desenvolveram colônias. Fortaleza, Ceará. 2017.



Fonte: Autor (2018)

3.2 Ensaios com concreto produzido com esgoto doméstico tratado e bruto

3.2.1 Fornecimento de esgoto tratado e bruto, coleta e preparação

Foram testados oito tipos de água, sendo as amostras utilizadas na pesquisa classificadas de acordo com o estado de tratamento ou ausência dele. A água potável foi proveniente do sistema de abastecimento público (potável).

O esgoto tratado foi proveniente de lagoas de ETE, em virtude da disponibilidade de água, logo após tratamento, mas antes de ocorrer qualquer processo de cloração. O esgoto bruto foi coletado tendo passado apenas pelas grades, visando retirar materiais grosseiros, como folhas, galhos etc., sem passar por nenhum tipo de tratamento químico ou físico adicional. Esse esgoto foi coletado antes mesmo da decantação, sem nenhuma interferência da ETE.

Os esgotos tratado e bruto foram provenientes de diversas estações de tratamento, visualizadas, em parte, nas Figuras 3.9 a 3.12 e da estação de pré-condicionamento de esgoto, todas localizadas na Região Metropolitana de Fortaleza, no Estado do Ceará, Brasil. (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Relação das lagoas de estabilização e de pré-condicionamento utilizadas, com respectiva numeração atribuída neste trabalho. Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. 2017.

Numero	Tipo	Descrição
EPC 1	PC	Pré-Condicionamento
ETE 2	LE	LAG ANA + FAC + MAT
ETE 3	LE	LAG FAC + MAT
ETE 4	LE	LAG ANA + FAC + MAT
ETE 5	LE	LAG FAC
ETE 6	LE	LAG FAC + MAT
ETE 7	LE	LAG FAT
ETE 8	LE	LAG FAC

Legenda: EPC - Estação de Pré-condicionamento; ETE - Estação de Tratamento de Esgoto; LE - Lagoa de Estabilização; LAG - Lagoa; ANA - Anaeróbia; FAC - Facultativa; MAT - Maturação.

Fonte: O autor (2018)

Figura 3.9 - Lagoa de estabilização ETE 2. Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. 2017



Fonte: O autor (2018)

Figura 3.10 - Lagoa de estabilização ETE 3. Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará 2017



Fonte: O autor (2018)

Figura 3.11 - Lagoa de estabilização ETE 4. Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. 2017



Fonte: O autor (2018)

Figura 3.12 - Lagoa de estabilização ETE 6. Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. 2017



Fonte: O autor (2018)

3.2.2 *Descrição dos materiais e análises*

Os ensaios foram realizados seguindo um protocolo pré-estabelecido de traço moldado com água potável como controle. Um segundo traço foi moldado com efluente de uma ETE (pós-tratamento na ETE, sem cloração) e um terceiro com água bruta (pré-tratamento na ETE, somente em grades). No total, 240 (duzentos e quarenta) corpos de prova foram moldados, tendo estes sido rompidos em períodos variados: 7, 28 e datas variadas com mais idade, para cada tipo de água utilizada. Todos esses ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais do Centro de Tecnologia da UFC.

No sétimo dia foram rompidos dois corpos de prova, para cada tipo de água, totalizando seis rompimentos. O mesmo protocolo de dois corpos de prova se repetiu em 28 dias. Quatro corpos de prova com mais idades, foram rompimentos, um par de corpos de prova, em duas datas diferentes. O ensaio realizado logo após o traço moldado foi o *slump*. Foram moldados 48 (quarenta e oito) corpos de prova adicionais como testemunho, ou seja, um par para cada uma das três águas, das oitos estações ensaiadas.

O concreto foi moldado usando um traço padrão, utilizando o cimento Portland composto, de acordo com NBR 16697 (ABNT, 2018), que define como cimento Portland composto o aglomerante hidráulico obtido por meio da moagem do clínquer Portland, ao qual se pode adicionar teores específicos de Pozzolana (CP II Z), utilizamos para todos os traços o cimento CP II - Z - 32, do mesmo fabricante e mesmo lote de fabricação, com os mesmos agregados, adquiridos especificamente para toda a pesquisa. O cimento também seguiu o mesmo protocolo, adquirido da mesma marca e tipo, sempre com prazo de fabricação inferior a 30 dias.

O único insumo que variou na moldagem dos corpos de prova foi a água de reúso tratada em sete ETEs e na EPC da Região Metropolitana de Fortaleza. O esgoto bruto foi coletado também nestas sete ETEs e na EPC, na entrada, logo após passar pela grade. A água de controle foi oriunda da água de abastecimento público coletada no próprio Laboratório de Materiais do Centro de Tecnologia da UFC.

A betoneira utilizada na pesquisa foi isolada das demais, sendo usada somente para este fim, visando a padronização das análises, pois todos os corpos de prova foram feitos com os mesmos materiais e na mesma betoneira. O único insumo que variou foi os esgotos tratados e brutos.

3.2.3 Descrição dos ensaios

Teste de abatimento ou *Slump test*

A determinação da consistência de concretos, no Brasil, é regulamentada pela NBR NM 67 (ABNT, 1998). O procedimento descrito na norma consiste na utilização de um tronco de cone que deve ser preenchimento com o concreto no estado fresco, em três camadas de mesma altura, sendo realizados 25 golpes em cada camada com uma haste padronizada definida pela norma.

A aplicação dos golpes visa proporcionar ao concreto um maior adensamento, procedimento semelhante ao que é feito na prática. Ainda segundo a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998), o método é aplicável aos concretos plásticos e coesivos que apresentem um assentamento igual ou superior a 10 mm, como resultado do ensaio realizado de acordo com a norma. Além disso, o método não se aplica a concreto cujo agregado graúdo apresente dimensão nominal máxima superior a 37,5 mm, devendo nesses casos, ser realizado o ensaio sobre a fração do concreto que passe pela peneira de 37,5 mm, (ABNT, 1998). O abatimento ou *slump* corresponde à diferença entre a altura inicial de 30 cm e a altura após remoção do molde (ABCP, 2000).

O ensaio de abatimento de tronco de cone ou *slump test* foi realizado três vezes em cada dia de moldagem, imediatamente após o concreto sair da betoneira e conforme especificado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998), obtendo-se resultados para o concreto produzido com cada um dos três tipos de água.

O Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone mede a consistência e a fluidez do material, permitindo que se controle a uniformidade do concreto. A principal função deste ensaio é fornecer uma metodologia simples e convincente para se controlar a uniformidade da produção do concreto em diferentes betonadas. Desde que, na dosagem, se tenha obtido um concreto trabalhável, a constância do abatimento indicará a uniformidade da trabalhabilidade. (REALMIX, 2006).

Segundo ABCP (2000) o abatimento do concreto pode se manifestar de três modos. O primeiro é o abatimento verdadeiro, quando o concreto se abate uniforme e simetricamente. O segundo é conhecido como abatimento cortante, no qual uma das metades do cone de concreto desliza uma em relação a outra segundo um plano inclinado. O terceiro é conhecido como abatimento com desagregação.

Geralmente, os abatimentos cortantes e com desagregação decorrem de concretos muito úmidos e pobres. A partir de maiores análises do método, é preferível a sua aplicação para concretos em que ocorra o abatimento verdadeiro, não sendo muito recomendado para concretos onde ocorra cisalhamento ou colapso. (ABCP, 2000).

O valor do abatimento é a medida do adensamento do concreto logo após a retirada do molde cônico. A noção de trabalhabilidade é, portanto, muito mais subjetiva que física, e o componente físico mais importante da trabalhabilidade é a consistência, termo que, aplicado ao concreto, traduz propriedades intrínsecas da mistura fresca, relacionadas com a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos componentes, tendo em vista a

uniformidade e a compacidade do concreto, além do bom rendimento durante a execução da estrutura, (REALMIX, 2006).

Misturas com consistência rijas têm abatimento zero, de modo que não se consegue nestes casos observar variações de trabalhabilidade. Já misturas ricas, como as comumente utilizadas nos concretos para a construção civil, podem ser aferidas satisfatoriamente com este ensaio (REALMIX, 2006). Neville (1997) indica correlações entre o ensaio de abatimento e trabalhabilidade, conforme mostra a Tabela 3.2

Tabela 3.2 - Correlações entre o ensaio de abatimento e trabalhabilidade.

Trabalhabilidade	Abatimento (mm)
Abatimento Zero	0
Muito Baixo	5 a 10
Baixa	15 a 30
Média	45 a 75
Alta	80 a 155
Muito Alta	160 ao desmoronamento

Fonte: Neville (1997)

Considerando-se as especificações dos concretos utilizados na construção civil, embora o ensaio apresente limitações, devido à facilidade de sua realização, torna-se muito útil para o controle da qualidade do concreto no estado fresco. No entanto, deve-se ter a garantia que o concreto foi dosado adequadamente e verificada a trabalhabilidade durante o seu preparo (REALMIX, 2006).

Apesar dessas limitações, o ensaio de abatimento é de grande utilidade para controlar um concreto de *slump* conhecido. Uma variação no seu valor alerta o operador no sentido de corrigir a dosagem. Essa aplicação do ensaio de abatimento, bem como sua simplicidade, é responsável por seu largo emprego no controle tecnológico do concreto.(ABCP, 2000), como mostra a Figura 3.13.

Figura 3.13 - Ensaio de abatimento de tronco de cone ou slump test. 2017. Laboratório de Materiais da UFC. Fortaleza, Ceará. 2017.



Fonte: O autor (2018)

Determinação da resistência à compressão

Os valores de resistência à compressão dos corpos de prova foram obtidos conforme descrito na NBR 5739 (ABNT, 2018) e por meio dos procedimentos apresentados na NM 37, fazendo uso de uma prensa EMIC modelo PCE100C. Foram realizadas 8 (oito) moldagens em dias diferentes e, em cada uma, 30 (trinta) corpos de prova (CPs) cilíndricos de concreto com dimensões 10 x 20 cm foram produzidos (10 para cada tipo de água utilizada), como mostra a Figura 3.14. Desta forma, para as sete ETEs $7 \times 30 = 210$ e para EPC $10 \times 3 = 30$, totalizando 240 CPs

Os corpos de prova foram moldados em conformidade com a NBR 5738 (ABNT, 2016) e identificados por três números, sendo o primeiro deles referente à água de abastecimento público, o segundo aos esgotos tratados e o terceiro ao esgoto bruto, ou seja, 1 para água de abastecimento público, 2 para esgoto tratado e 3 para a esgoto bruto.

Uma vez realizados determinados às resistências específicas de cada corpo de prova moldado foi possível determinar a resistência característica a compressão de cada estação e tipo de água utilizada na produção do concreto por meio dos procedimentos descritos na NBR 12655 (ABNT, 2016), que foram rompidos no equipamento de rompimento à compressão, Figura 3.15.

Como moldamos todos os corpos de prova de um tipo água da mesma betonada, ou seja, cinco exemplares com dois corpos de prova para cada água de cada ETE. Desta

forma, de acordo com a referida norma, consiste na amostragem 100 %, ou seja, todas as betonadas são amostradas e representadas por um exemplar que define a resistência à compressão daquele concreto naquela betonada. Neste caso, o valor da resistência característica à compressão do concreto estimada ($f_{ck,est}$) é dado por: $f_{ck,est} = f_c$, betonada, onde, f_c , betonada é o valor da resistência à compressão do exemplar que representa o concreto da betonada.

Figura 3.14 - Moldagem de três grupos de dez corpos de prova. Laboratório de Materiais da UFC. Fortaleza, Ceará. 2017.



Fonte: O autor (2018)

Figura 3.15 - Equipamentos utilizados no ensaio de rompimento à compressão. Laboratório de Materiais da UFC. Fortaleza, Ceará. 2017.



Fonte: O autor (2018)

3.2.4 Ensaio físico-químico

Ensaio físico-químico foram realizados para determinar a qualidade da água para o uso na produção do concreto, abrangendo um total de 15 parâmetros, segundo as normas da ABNT das NBR 15.900-3 a NBR 15.900-11 (ABNT, 2009b, 2009c, 2009d, 2009e, 2009f, 2009g, 2009h, 2009i, 2009j), para o amassamento de corpos de prova, conforme descritos na Tabela 3.2. Esses ensaios foram realizados no Laboratório de Saneamento Ambiental (LABOSAN) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Os parâmetros avaliados foram: óleos e gorduras; detergentes; cor; material sólido; odor; pH; matéria orgânica; cloretos; sulfatos; álcalis; açúcares; fosfatos; nitratos; chumbo; e zinco.

Para estes ensaios foi escolhido o esgoto bruto da Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto (EPC) - Fortaleza, com características predominantes de esgoto residencial e representando estação de maior vazão do insumo em estudo, disponível na região metropolitana de Fortaleza.

O objetivo da escolha do esgoto bruto em relação ao esgoto tratado, deve-se ao fato deste está mais contaminado. Desta forma, a amostra utilizada confere fator de segurança aos ensaios, ou seja, como se pretende verificar o qualidade do efluente com relação aos seus parâmetro físico-químicos, como qualidade da água para o uso na produção do concreto, o esgoto bruto coloca-se com qualidade inferior ao esgoto tratado. Avalia-se o insumo esgoto bruto, visando verificar se essas características poderiam comprometer a qualidade exigida pelas normas para a água na produção do concreto. (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Parâmetros físico-químicos de qualidade da água para produção de concreto. Fortaleza, Ceará. 2017.

Parâmetro	Norma ABNT	Metodologia	Teor máximo
Óleos e gorduras	NBR 15900-3	Colorimétrico	Não mais do que traços visíveis
Detergentes	NBR 15900-3	Colorimétrico	Qualquer espuma deve desaparecer em 2 minutos
Cor	NBR 15900-3	Colorimétrico	A cor deve ser comparada qualitativamente com água potável devendo ser: amarelo claro a incolor
Material sólido	NBR 15900-3	Gravimétrico	< 50000 mg/L
Odor	NBR 15900-3	Sensorial	Não deve apresentar cheiro, exceto um leve odor de cimento e, onde houver escória, um leve odor de sulfeto de hidrogênio após a adição de ácido clorídrico
pH	NBR 15900-3	Potenciométrico	≥ 5,0
Matéria orgânica	NBR 15900-3	Colorimétrico	A cor da água deve ser mais clara ou igual a da solução-padrão, após a adição de NaOH
Cloretos	NBR 15900-6	IC	Concreto protendido (< 500 mg/L); Concreto armado (< 1000 mg/L); Concreto simples (sem armadura) (< 4500 mg/L)
Sulfatos	NBR 15900-7	IC	< 2000 mg/L
Álcalis	NBR 15900-9	Absorção atômica	< 1500 mg/L
Açúcares	NBR 15900-11	Espectrofotometria	< 100 mg/L
Fosfatos	NBR 15900-8	IC	< 100 mg/L
Nitratos	NBR 15900-10	IC	< 500 mg/L
Chumbo	NBR 15900-5	Absorção atômica	< 100 mg/L
Zinco	NBR 15900-4	Absorção atômica	< 100 mg/L

Fonte: Organizada pelo autor (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação da Ação Antimicrobiana do Cimento Portland (AACP).

Os protocolos de análises da inibição microbiana, na presença do AACP aplicado no esgoto bruto, foram realizados conforme protocolo e procedimentos microbiológicos, que objetivaram verificar a ocorrência de inibição nas comunidades bacterianas quando o esgoto bruto esteve em contato com o cimento/AACP. Os resultados da determinação de coliformes totais e termotolerantes (NMP/100mL) no efluente bruto, com e sem AACP, estão apresentados na Tabela 4.1.

Os resultados obtidos neste estudo evidenciaram altas contagens de coliformes termotolerantes e bactérias heterotróficas nas amostras de efluente bruto, com valores próximos de $1,6 \times 10^6$ NMP/100 mL e $1,5 \times 10^5$ UFC/mL, respectivamente.

As Figuras 4.1a, 4.1b, 4.1c até 4.4a, 4.4b, 4.4c mostram a série dos cinco tubos de Durham na determinação quantitativa dos Coliformes termotolerantes, aplicando-se a técnica tubos múltiplos, Número Mais Provável (NMP). Na parte externa dos tubos foram realizadas identificações. Registraram-se dentro dos círculos, três números: 1, 2 e 3. O número 1 identifica o esgoto bruto, ensaiado no tempo zero, sem a aplicação do cimento/AACP. O número 2 também identifica o esgoto bruto, sem a ação do cimento/AACP, mas ensaiado no tempo 30 minutos. Já o número 3 identifica o esgoto bruto, ensaiado com a presença do cimento/AACP, no tempo 30 minutos.

Observe-se que a leitura da presença de termotolerantes foi confirmada pela formação de gás (mínimo 1/10 do volume total do tubo de Durham). A densidade de coliformes termotolerantes é expressa como NMP por 100mL, o qual foi obtido através da tabela do NMP, em que são dados os limites de confiança de 95% para cada valor determinado.

Tabela 4.1 - Análises microbiológicas do esgoto bruto, com e sem AACP, com relação à presença de coliformes termotolerantes. Fortaleza, Ceará. 2017.

Amostra	Tipo Amostra	Data do ensaio	Tempo (min.)	NMP/100mL
A1	Sem AACP	17/11/2016	0	$< 1,6 \times 10^6$
A2	Com AACP	17/11/2016	30	$2,3 \times 10^3$
A3	Com AACP	17/11/2016	30	$2,3 \times 10^3$
A4	Com AACP	17/11/2016	60	$3,3 \times 10^3$
A5	Com AACP	17/11/2016	60	$2,3 \times 10^3$
B1	Sem AACP	11/01/2017	0	$> 1,6 \times 10^6$
B2	Sem AACP	11/01/2017	30	$> 1,6 \times 10^6$
B3	Com AACP	11/01/2017	30	$< 1,8 \times 10^2$
B4	Com AACP	11/01/2017	30	$< 1,8 \times 10^2$
C1	Sem AACP	15/02/2017	0	$> 1,6 \times 10^6$
C2	Sem AACP	15/02/2017	30	$> 1,6 \times 10^6$
D1	Com AACP	15/02/2017	30	$7,8 \times 10^2$
D2	Com AACP	15/02/2017	30	$7,8 \times 10^2$
E1	Com AACP	15/02/2017	30	$4,5 \times 10^2$
E2	Com AACP	15/02/2017	30	$< 1,8 \times 10^2$
F1	Sem AACP	09/05/2018	0	$> 1,6 \times 10^6$
F2	Sem AACP	09/05/2018	30	$> 1,6 \times 10^6$
F3	Com AACP	09/05/2018	30	$< 1,8 \times 10^2$

Legenda: Amostra A1 a A5 (onde a letra “A” representa o fabricante de cimento “A”, os números de 1 a 5 representa sempre os números dos ensaios); B1 a B4 (B o fabricante “B”); C1 e C2 (não representa fabricante observando, que são ensaios “Tipo Amostra” (Sem AACP),ou seja, sem uso de cimento, estes entretanto são os parâmetros de controles para D1e D2 (fabricante “D”), como também para E1e E2 (fabricante “E”); por fim F1 a F3(fabricante “F”)

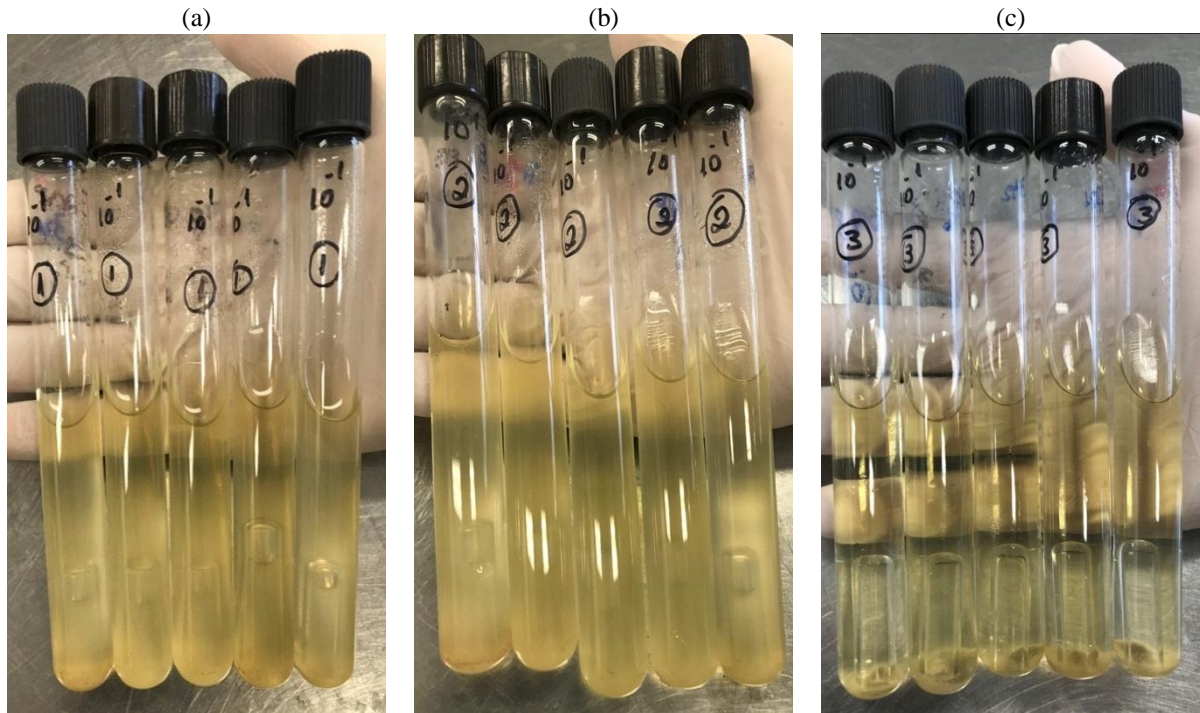
Fonte: O autor (2018)

Os números acima do círculo, nas figuras, referem-se às diluições 1×10^{-1} a 1×10^{-4} , a que foram submetidos o esgoto bruto, seguindo o protocolo normatizado. As figuras apresentam os resultados para todas as diluições. Em todos os tubos sem a aplicação do cimento/AACP é verificada a presença de Coliformes termotolerantes.

Já os tubos nos quais se aplicou o cimento/AACP, em todas as diluições, não apresentaram qualquer ocorrência de formação de gás. Desta forma, pode-se visualizar, claramente, nos tubos marcados com o numero 3, a ausência de qualquer microrganismos, mostrando a efetividade da ação antimicrobiana no cimento (AACP).

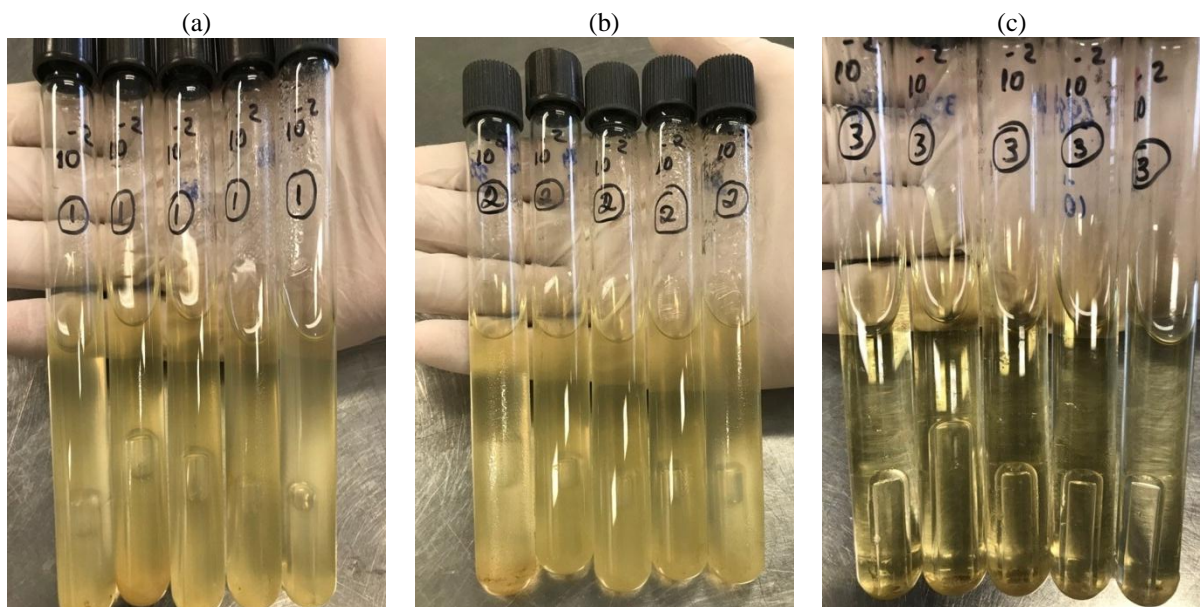
Os resultados quando aplicados à tabela de Número Mais Provável (NMP), resultam no menor valor atribuído na referida tabela ($< 1,8 \times 10^2$). Nos tubos nos quais não se aplicou o AACP, estes valores representam o valor máximo da tabela: $> 1,6 \times 10^6$, variando para valores de $< 1,6 \times 10^6$. As Figuras 4.1 a 4.4 permitem visualizar os resultados.

Figura 4.1 - Detalhes dos tubo de Durhan para esgoto bruto na diluição de 1×10^{-1} : (a) Sem AACP, tempo zero; (b) Sem AACP, 30 min.; (c) Com AACP, 30 min. Fortaleza, Ceará. 2018.



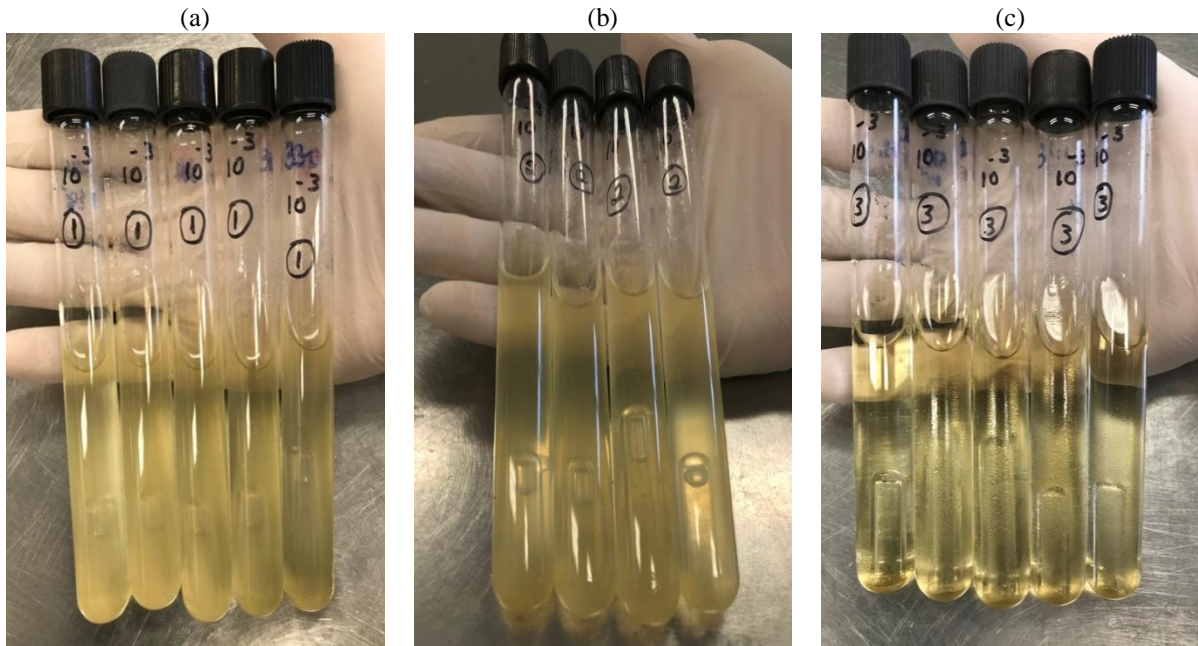
Fonte: O autor (2018)

Figura 4.2 - Detalhes dos tubo de Durhan para esgoto bruto na diluição de 1×10^{-2} : (a) Sem AACP, tempo zero; (b) Sem AACP, 30 min.; (c) Com AACP, 30 min. Fortaleza, Ceará. 2018.



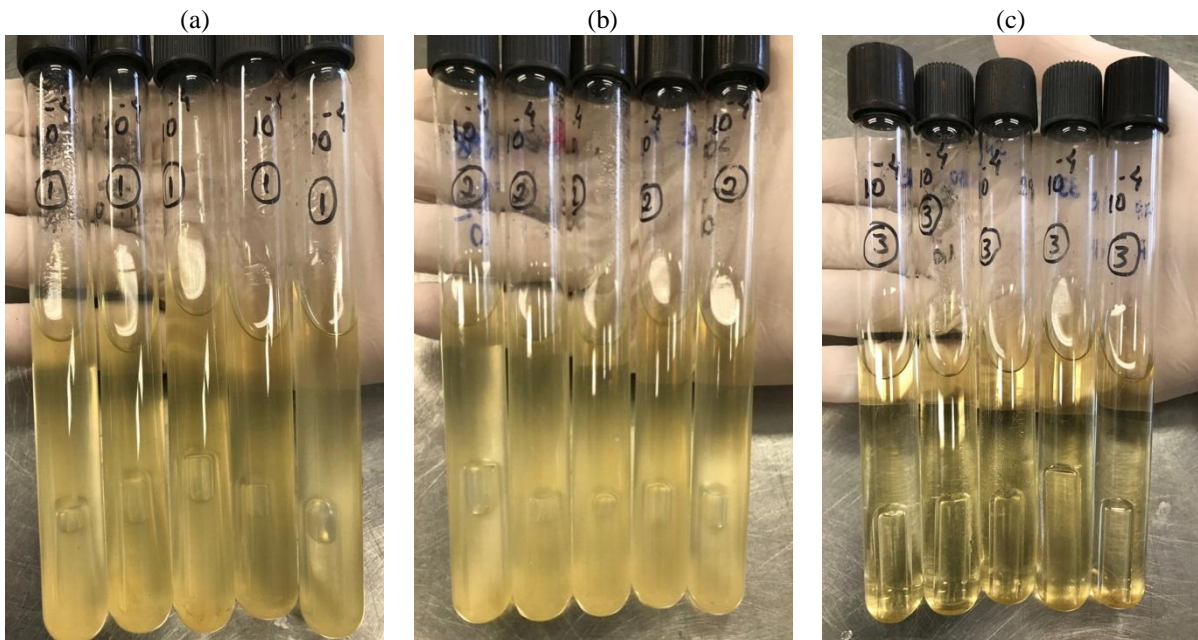
Fonte: O autor (2018)

Figura 4.3 - Detalhes dos tubo de Durhan para esgoto bruto na diluição de 1×10^{-3} : (a) Sem AACP, tempo zero; (b) Sem AACP, 30 min.; (c) Com AACP, 30 min. Fortaleza, Ceará. 2018.



Fonte: O autor (2018)

Figura 4.4 - Detalhes dos tubo de Durhan para esgoto bruto na diluição de 1×10^{-4} : (a) Sem AACP, tempo zero; (b) Sem AACP, 30 min.; (c) Com AACP, 30 min. Fortaleza, Ceará. 2018.



Fonte: O autor (2018)

Os resultados da determinação quantitativa das bactérias heterotróficas em (UFC/mL) no efluente bruto, com e sem AACP, estão apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Culturas de bactérias heterotróficas do esgoto bruto, com e sem AACP, com relação à presença de bactérias heterotróficas. Fortaleza, Ceará. 2018.

Amostra	Tipo Amostra	Data do ensaio	Tempo	10 ⁻¹ em UFC/mL	10 ⁻² em UFC/mL	10 ⁻³ em UFC/mL	10 ⁻⁴ em UFC/mL
A1	Sem AACP	17/11/2016	0	Incontável	Incontável	1760 e 1600	1,5 x 10 ⁶
A2	Com AACP	17/11/2016	30	162	3,1 x 10 ³	3	0
A3	Com AACP	17/11/2016	30	226	2,6 x 10 ³	4	0
A4	Com AACP	17/11/2016	60	160	1,5 x 10 ³	3	0
A5	Com AACP	17/11/2016	60	224	2,2 x 10 ³	3	0
B1	Sem AACP	11/01/2017	0	Incontável	Incontável	1700	6,1 x 10 ⁶
B2	Sem AACP	11/01/2017	30	Incontável	Incontável	1600	5,8 x 10 ⁶
B3	Com AACP	11/01/2017	30	4,5 x 10 ²	5	0	0
B4	Com AACP	11/01/2017	30	3,5 x 10 ²	4	0	0
C1	Sem AACP	15/02/2017	0	Incontável	Incontável	Incontável	3,0 x 10 ⁶
C2	Sem AACP	15/02/2017	30	Incontável	Incontável	Incontável	3,0 x 10 ⁶
D1	Com AACP	15/02/2017	30	3,9 x 10 ²	4	0	0
D2	Com AACP	15/02/2017	30	2,4 x 10 ²	0	0	0
E1	Com AACP	15/02/2017	30	7,6 x 10 ²	9	0	0
E2	Com AACP	15/02/2017	30	4,5 x 10 ²	6	0	0
F1	Sem AACP	09/05/2018	0	Incontável	Incontável	Incontável	2,6 x 10 ⁶
F2	Sem AACP	09/05/2018	30	Incontável	Incontável	Incontável	3,1 x 10 ⁶
F3	Com AACP	09/05/2018	30	7,5 x 10	0 e 0	0 e 0	0 e 0

Legenda: Amostra A1 a A5 (a letra “A” representa o fabricante de cimento “A”, os números 1 a 5 representam sempre os números dos ensaios); B1 a B4 (B o fabricante “B”); C1 e C2 (não representa fabricante observando, que são ensaios “Tipo Amostra” (Sem AACP), ou seja, sem uso de cimento, entretanto estes são os parâmetros de controles para D1e D2 (fabricante “D”), como também para E1e E2 (fabricante “E”); por fim F1 a F3 (fabricante “F”)

Fonte: O autor (2018)

A partir da análise da Tabela 4.2, pode-se constatar que houve inibição total de bactérias heterotróficas na diluição de 10⁻⁴, em todas as amostras onde se aplicou o AACP. Por outro lado, nas amostras de mesma diluição onde não houve a aplicação do AACP, constatou-se formação significativa de colônias de bactérias.

Para as amostras com diluição de 10⁻³ também é possível notar um grande efeito do AACP nas amostras onde ele foi aplicado, havendo inibição total em quase todas as amostras com exceção das amostras A2, A3, A4 e A5 onde houve formação irrisória de colônias de bactérias. Já nas amostras sem o AACP percebe-se uma grande quantidade de bactérias sendo incontável em diversas amostras.

Na diluição de 10⁻², as amostras sem a aplicação de AACP obtiveram formação de colônias de bactérias maior ainda, sendo incontável em todas as amostras. Nas amostras onde

foi aplicado o AACP, há uma redução significativa do número de bactérias sendo desprezível em quase todas as amostras.

Por último, na diluição de 10^{-1} , as amostras sem o AACP apresentam o mesmo comportamento com número incontável de colônias de bactérias formadas. Já nas amostras desta diluição onde o AACP foi aplicado, houve redução significativa da formação de colônias.

Com isso pode-se constatar que a presença de uma ação antimicrobiana no cimento (AACP) reduziu significativamente a contagem de coliformes termotolerantes e bactérias heterotróficas do esgoto bruto, indicando uma atividade antimicrobiana significativa.

Todavia, são necessários mais estudos, com técnicas mais aprofundadas, visando à reprodução destes resultados, objetivando a identificação na cinética da hidratação do cimento, quais os princípios ativos e fatores das mudanças do sistema microbiano analisado, foram determinantes do fenômeno observado na ação antimicrobiana no cimento (AACP) em um tempo tão reduzido, menor que 30 minutos, desta forma, pressupomos a viabilidade técnica da utilização de esgoto tratado na indústria do concreto.

Os valores elevados de contagem de coliformes termotolerantes e bactérias heterotróficas foram observados em 100% das amostras de esgoto bruto analisadas (Tabelas 4.1 e 4.2), mesmo após 30 minutos da primeira contagem, evidenciando que a população não foi reduzida por aspectos ecológicos endógenos, como competição ou predação.

No caso das amostras estudadas, não houve modificação, portanto, também não houve interferência de metabólitos secundários. Assim, pode-se afirmar que a redução ocorreu apenas devido ao AACP adicionado.

A ação antimicrobiana (AACP) no cimento, pode-se ser classificado como um sanitizante, isto é, substância caracterizada por reduzir ou eliminar contaminantes bacterianos até um nível seguro. Os sanitizantes são muito utilizados na desinfecção de água, atuando no controle de patógenos (RIBEIRO; CANUTO; VESCHI, 2008). Este fenômeno se deve pelas concentrações elevadas em que os sanitizantes são utilizados em relação às suas concentrações inibitórias mínimas (CIM) (KASTBJERG; GRAM, 2012).

A ação antimicrobiana do cimento Portland (AACP) foi eficaz, por reduzir a contagem de microrganismos, e eficiente, pois em 30 minutos promoveu a inibição observada. Adicionalmente, observou-se também que não houve diferença significativa na inibição quando se comparam os tempo de contato com o cimento da amostras (30 e 60 minutos). Este resultado indica que o mecanismo de ação antimicrobiana em questão ocorre em até 30 minutos, não havendo novas alterações significativas após este intervalo.

Na realidade, é possível que a inibição ocorra em tempo ainda menor, porém, para determinar esse tempo, mais testes são necessários.

Os resultados indicam que não houve recrescimento desses microrganismos. Um processo mais comum em bactérias heterotróficas do que em coliformes termotolerantes. Portanto, as bactérias heterotróficas podem influenciar na detecção de organismos indicadores, embora não sejam indicadoras diretas de contaminação fecal. Este grupo pode indicar variações da qualidade da água, potencial de sobrevivência e potencial de recrescimento de patógenos (PEPPER et al., 2008).

A inibição de coliformes por heterotróficas pode ocorrer devido a dois fatores principais (LECHEVALLIER; MCFETERS, 1985):

- a ação de substâncias, como as bactericidas produzidas por algumas espécies de bactérias, que inibem o crescimento de espécies competidoras;
- o crescimento elevado de espécies que possam sobrepor com os coliformes, reduzindo seus números em função da competição por recursos.

Caso um dos dois fatores ocorra, é possível que a presença dos coliformes seja mascarada, gerando um falso negativo na detecção, o que, por sua vez, pode implicar em redução da eficiência do tratamento, por falhas no monitoramento microbiológico. Em estações de tratamento de esgoto o recrescimento de bactérias heterotróficas pode ocorrer em virtude de alguns de parâmetros ambientais (PEPPER et al., 2008):

- a concentração de cloro residual esteja abaixo de 0,2 mg/L;
- a temperatura da água esteja acima de 10 °C
- o carbono orgânico assimilável esteja maior que 50 µg/L.

Outro problema que o recrescimento pode causar é a capacidade desse grupo se comportar como patógenos oportunistas, atuando como patógenos emergentes, os quais podem representar um problema de saúde pública (REASONER, 1991).

Aplicou-se no protocolo dos ensaios o controle destas possíveis interações no sistema microbiano, quando se utilizou ensaios com o esgoto bruto no tempo zero e no tempo 30 minutos sem a aplicação do cimento/AACP. Desta forma, qualquer interação importante, que eventualmente poderia estar presente nesse sistema ecológico seria diagnosticada com a comparação destas duas amostras.

Visando a uniformidade da concentração e efetividade de qualquer antimicrobiano a ser aplicado em um corpo de água, este deve ser uniformemente disperso, portanto, a agitação adequada e padronizada favoreceu o processo de avaliação da inibição microbiana.

Pôde-se perceber que os procedimentos metodológicos foram adequadamente realizados, pois a inibição observada em todas as amostras foi similar, com reduções significativas (acima de 99%) na contagem de coliformes termotolerantes e bactérias heterotróficas, em relação à contagem inicial. Portanto, evidencia-se que a agitação constante durante 30 minutos, simulando as condições encontradas na betoneira é uma etapa essencial na indústria do concreto.

A redução verificada após a introdução do agente antimicrobiano foi fruto de uma inibição bacteriana acentuada, reduzindo de forma significativa o risco de contato com a água analisada, uma vez que a Resolução CONAMA 357 (BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005) e suas alterações estipulam que:

- Classe 1 - águas destinadas:
 - ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado;
 - à proteção das comunidades aquáticas;
 - à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho);
 - à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao Solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película.
 - à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
- Classe 2 - águas destinadas:
 - ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;
 - à proteção das comunidades aquáticas;
 - à recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho);
 - à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas;
 - à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
- Classe 3 - águas destinadas:
 - ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;

- à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- à dessedentação de animais.

Ainda segundo as resoluções 274 e 357 (BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2001, 2005):

- Água doce de classe 1: número de coliformes termotolerantes não deverá exceder o limite de $2,0 \times 10^2$ NMP/100 mL;
- Água doce de classe 2: número de coliformes termotolerantes não deverá exceder o limite de 10^3 NMP/100 mL;
- Água doce de classe 3: número de coliformes termotolerantes não deverá exceder o limite de $4,0 \times 10^3$ NMP/100 mL.

Adicionalmente, ambas as resoluções também mencionam o valor para bactérias heterotróficas, que apesar de não serem utilizadas como padrão de potabilidade, têm um limite superior: seu valor não deve ultrapassar $5,0 \times 10^2$ UFC/mL.

Quanto às bactérias heterotróficas, apenas uma amostra apresentou um valor acima do permitido: a amostra E1, com $7,6 \times 10^2$ UFC/mL. Todas as demais amostras apresentaram valores menores do que a legislação exige para estes microrganismos (Tabela 4.9). As amostras B3, B4, D1, D2, E1 e E2 se enquadrariam como águas de classe 2, pois seus valores estão dentro do valor permitido (10^3 NMP/100 mL). A amostra F3 se enquadraria como água de classe 1, pois seu valor está dentro do valor permitido ($2,0 \times 10^2$ NMP/100 mL) (Tabela 4.2). Desta forma, pode-se perceber que a inibição observada está além do esperado para o agente em questão, cumprindo as exigências estipuladas.

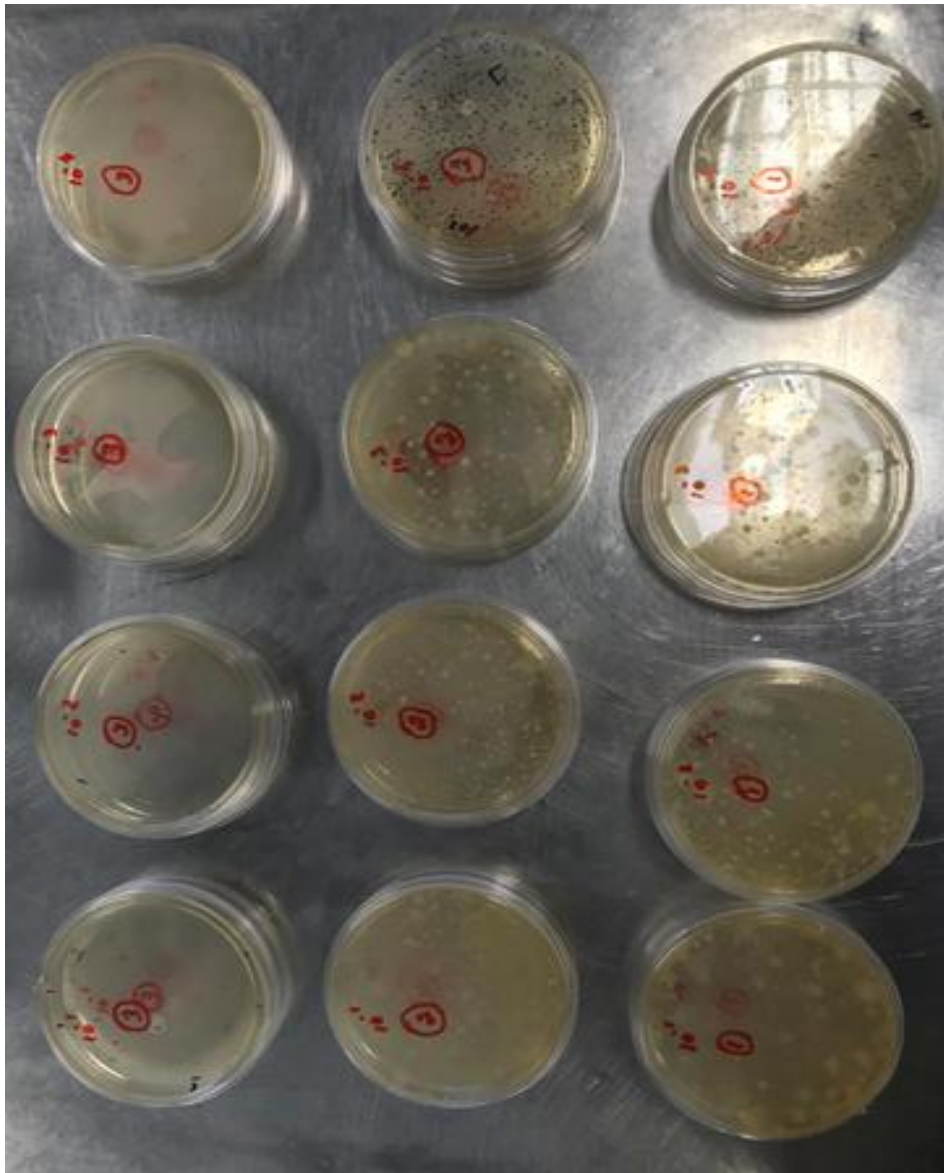
Nas Figuras 4.5 a 4.12, apresentam-se as culturas de bactérias, observando-se a formação de colônias de organismos microbianos *in vitro*, com meio de cultura de amplo espectro, com a seguinte numeração: 1 refere-se à cultura bacteriana do esgoto bruto preparada no tempo zero; 2 refere-se à cultura do mesmo esgoto bruto preparada no tempo 30 minutos; e 3, refere-se à cultura também do mesmo esgoto bruto adicionado ao cimento/AACP preparada no tempo de 30 minutos, equivalente às mesmas condições controladas na cultura de número 2. A confirmação da efetividade do AACP pode ser observada na comparação das culturas de números 3 e 2, que foram submetidas aos mesmos protocolos de agitação, temperatura, pressão, destacando-se a quase inexistência de colônias na cultura 3, devido a ação antimicrobiana (AACP), como indicado na Figura 4.8.

A comparação da cultura 1 com a 2 permite avaliar se no tempo de 30 minutos de espera para a preparação, que é o único parâmetro que os difere, alguma interação

microbiológica poderia alterar o resultado, representando um controle do ensaio. O ensaio demonstrou que isso não ocorreu, observando-se que não se constatou diferença significativa do número de culturas para os tempos zero e trinta minutos (Figuras 4.9a e 4.9b).

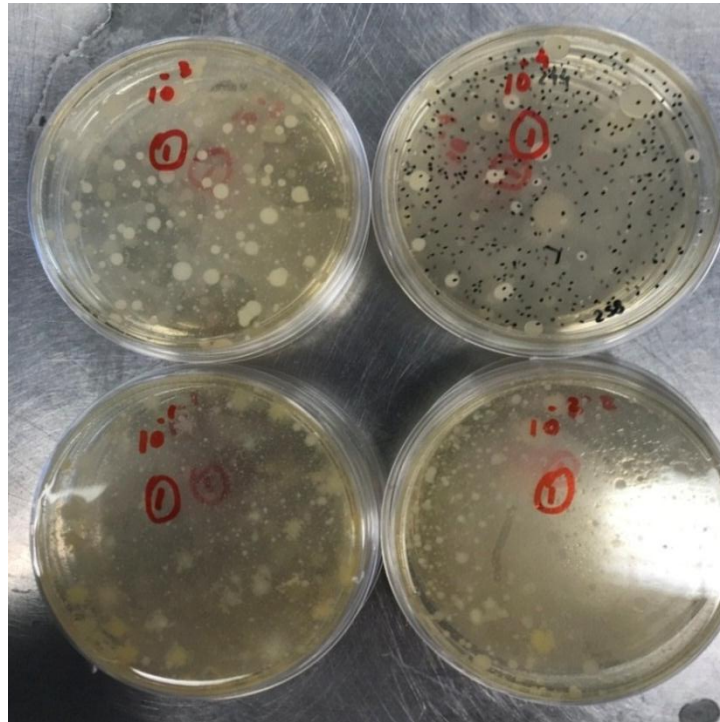
A grande redução do número de culturas só ocorreu quando foi adicionado o cimento/AACP. Isso pode ser constatado observando-se as Figuras 4.9 a 4.12. Estas apresentam placas com culturas bacterianas para quatro diluições (10^{-1} a 10^{-4}). Para todas ocorreu grande redução da presença de bactérias heterotróficas após a aplicação do cimento.

Figura 4.5 - Placa com culturas das três águas nas quatro diluições. Fortaleza, Ceará. 2018.



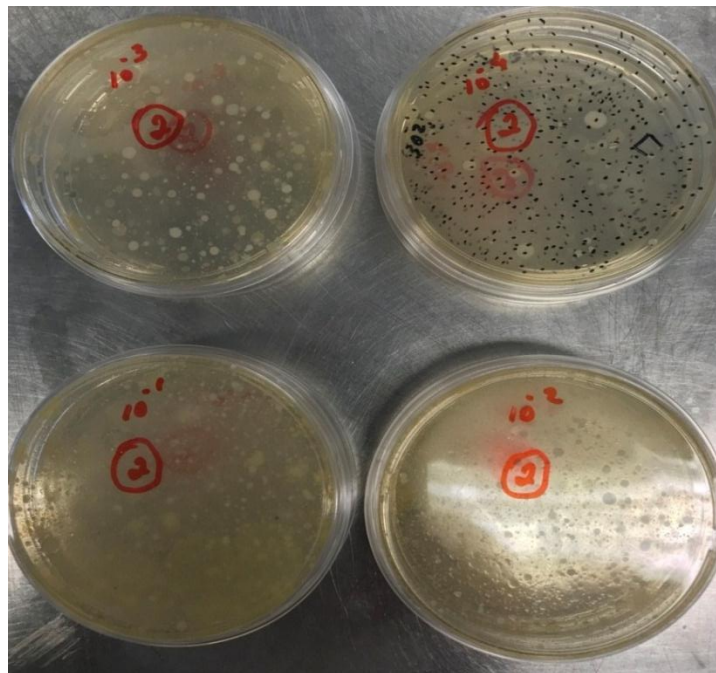
Fonte: Autor (2018)

Figura 4.6 - Placas com culturas do esgoto bruto, tempo zero, sem AACP, nas quatro diluições. Fortaleza, Ceará. 2018



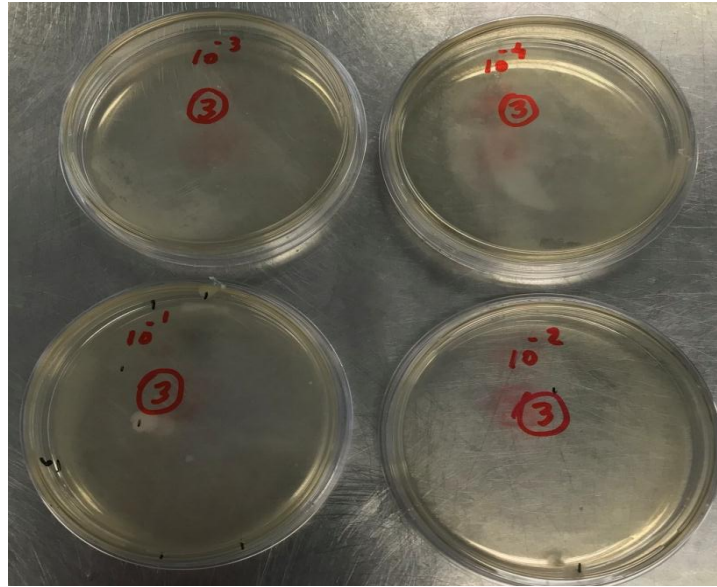
Fonte: Autor (2018)

Figura 4.7 - Placas com culturas do esgoto bruto, tempo 30 min, sem AACP, nas quatro diluições. Fortaleza, Ceará. 2018.



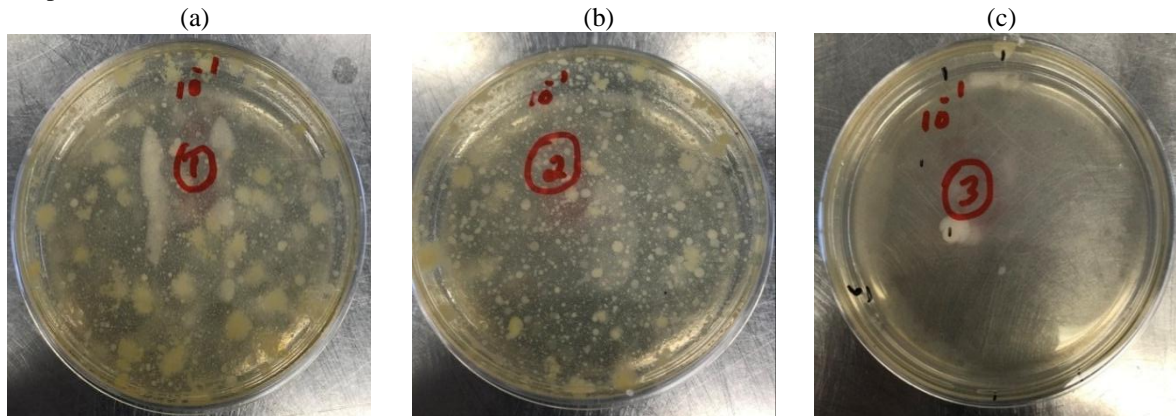
Fonte: Autor (2018)

Figura 4.8 - Placas com culturas do esgoto bruto, tempo 30 min, com AACP, nas quatro diluições. Fortaleza, Ceará. 2018.



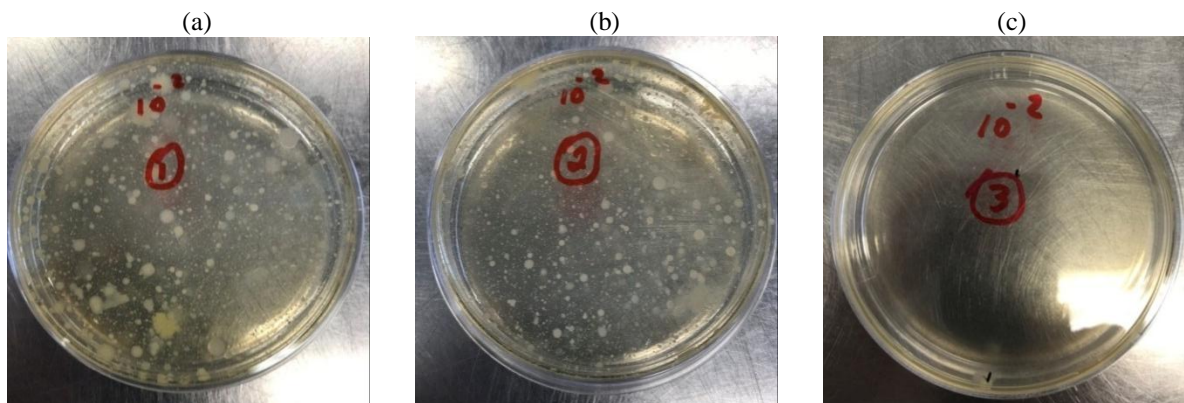
Fonte: Autor (2018)

Figura 4.9 - Placas com culturas dos três tipos de esgoto bruto na mesma diluição (10^{-1}): (a) Sem AACP, tempo zero; (b) Sem AACP, 30 min.; (c) Com AACP, 30 min. Fortaleza, Ceará. 2018.



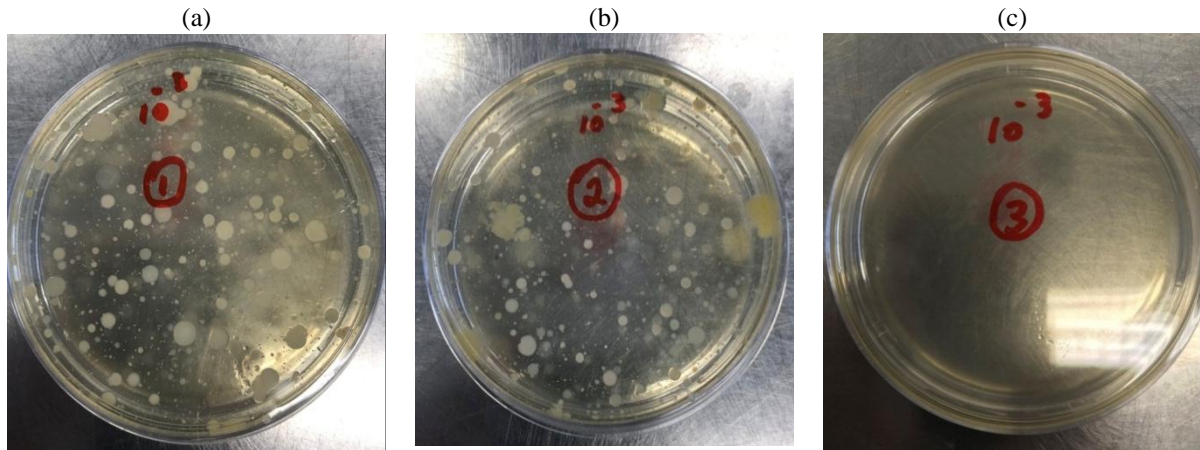
Fonte: O autor (2018)

Figura 4.10 - Placas com culturas dos três tipos de esgoto na mesma diluição (10^{-2}): (a) Sem AACP, tempo zero; (b) Sem AACP, 30 min.; (c) Com AACP, 30 min. Fortaleza, Ceará. 2018.



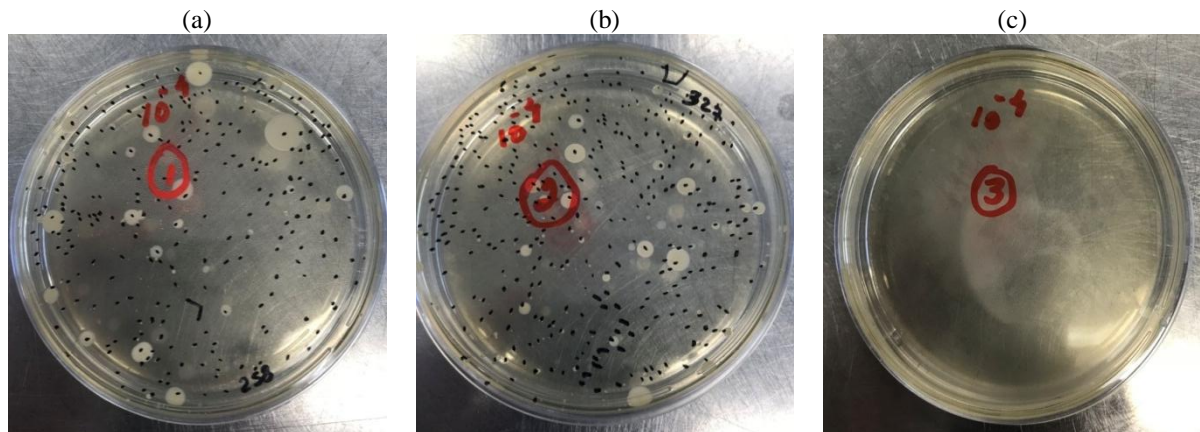
Fonte: O autor (2018)

Figura 4.11 - Placas com culturas dos três tipos de esgoto na mesma diluição (10^{-3}): (a) Sem AACP, tempo zero; (b) Sem AACP, 30 min.; (c) Com AACP, 30 min. Fortaleza, Ceará. 2018.



Fonte: O autor (2018)

Figura 4.12 - Placas com culturas dos três tipos de esgoto na mesma diluição (10^{-4}): (a) Sem AACP, tempo zero; (b) Sem AACP, 30 min.; (c) Com AACP, 30 min. Fortaleza, Ceará. 2018.



Fonte: O autor (2018)

Os resultados obtidos mostram que a ação do cimento (AACP) reduz significativamente os microrganismos presentes no esgoto bruto, indicando a possibilidade do seu uso na produção de concreto, contribuindo para a melhoria do uso e gerenciamento de águas em zonas de escassez, especialmente em zonas equatoriais, em locais de clima árido e semiárido.

4.2 Análise dos resultados do concreto

4.2.1 Resultados físico-químicos de qualidade dos efluentes para concreto

Os resultados obtidos para o esgoto bruto da EPC apresentaram todos os parâmetros físico-químicos analisados dentro das normas relacionadas. Podendo, sob este aspecto, ser considerada própria para utilização em concreto. (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Parâmetros físico-químicos de qualidade da água para produção de concreto. Resultados determinados para o esgoto bruto EPC - Estação de Pré-condicionamento de esgoto. Fortaleza, Ceará. 2017.

Parâmetro	Norma ABNT	Metodologia	Teor máximo	Resultados
Óleos e gorduras	NBR 15900-3	Colorimétrico	Não mais do que traços visíveis	Ausente
Detergentes	NBR 15900-3	Colorimétrico	Qualquer espuma deve desaparecer em 2 minutos	Ausente
Cor	NBR 15900-3	Colorimétrico	A cor deve ser comparada qualitativamente com água potável devendo ser: amarelo claro a incolor	Amarela
Material sólido	NBR 15900-3	Gravimétrico	< 50000 mg/L	910
Odor	NBR 15900-3	Sensorial	Não deve apresentar cheiro, exceto um leve odor de cimento e, onde houver escória, um leve odor de sulfeto de hidrogênio após a adição de ácido clorídrico	Não Inodoro
pH	NBR 15900-3	Potenciométrico	≥ 5,0	7,5
Matéria orgânica	NBR 15900-3	Colorimétrico	A cor da água deve ser mais clara ou igual a da solução-padrão, após a adição de NaOH	Mais Claro
Cloretos	NBR 15900-6	IC	Concreto protendido (< 500 mg/L); Concreto armado (< 1000 mg/L); Concreto simples (sem armadura) (< 4500 mg/L)	209,7 209,7 209,7
Sulfatos	NBR 15900-7	IC	< 2000 mg/L	50,9
Álcalis	NBR 15900-9	Absorção atômica	< 1500 mg/L	38,6
Açúcares	NBR 15900-11	Espectrofotometria	< 100 mg/L	< L. D.
Fosfatos	NBR 15900-8	IC	< 100 mg/L	15,1
Nitratos	NBR 15900-10	IC	< 500 mg/L	< L. D.
Chumbo	NBR 15900-5	Absorção atômica	< 100 mg/L	< L. D.
Zinco	NBR 15900-4	Absorção atômica	< 100 mg/L	< L. D.

Fonte: O autor (2018).

Observa-se nos resultados da referida tabela o símbolo L. D. (Limite de detecção), onde, para o zinco = 0,1203mg/L; chumbo = 01339 mg/L; para açúcares = 10 mg/L e N.I (Não identificado). O esgoto bruto da Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto (EPC) - Fortaleza foi escolhido pelas suas características predominantes de esgoto residencial e representando a maior quantidade do insumo.

4.2.2 Análise dos valores de abatimento de tronco de cone - Slump test

Os ensaios de abatimento de tronco de cone ou *slump test* foram realizados imediatamente após a rodagem dos traços de concreto na betoneira e os resultados obtidos encontram-se na Tabela 4.4.

Pelos resultados da Tabela 4.4 se percebe uma clara tendência de maior trabalhabilidade dos esgotos tratado e bruto, em comparação com a água de abastecimento público.

Tabela 4.4 - Resultados do slump test obtidos para cada moldagem. Fortaleza, Ceará. 2017.

Data da Moldagem	Slump Test obtido		
	Água Abastecimento Público	Esgoto Tratado	Esgoto Bruto
*25/07/2017	40,00	45,00	50,00
27/06/2017	30,00	40,00	50,00
04/07/2017	35,00	45,00	40,00
06/07/2017	30,00	35,00	35,00
11/07/2017	25,00	30,00	45,00
12/07/2017	30,00	40,00	30,00
14/07/2017	25,00	35,00	35,00
18/07/2017	30,00	35,00	40,00

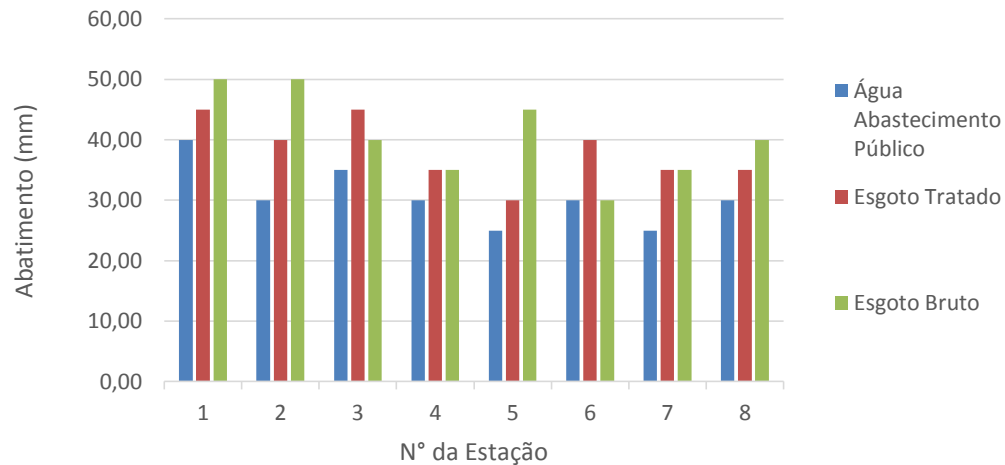
Fonte: O autor (2018)

*As datas não se encontram em ordem cronológica, devido essas acompanharem a ordem que foram numeradas a EPC (Nº1) e as ETEs (Nº 2 a 8), a EPC foi a última a ser coletada, batizada com o número 1, devido ser a de maior vazão de efluente entre todas as ETEs.

A partir da análise do Gráfico 4.1 é possível visualizar melhor a obtenção de maiores resultados de abatimento para os concretos moldados com esgoto, que apresentam valores maiores que o moldado com água de abastecimento público em quase todas as estações de tratamento.

Essa tendência reflete-se nos valores médios de 30,63 mm para a água de abastecimento público e 38,13 mm e 40,63 mm para esgoto tratado e bruto, respectivamente. Essa tendência pode ser mais bem visualizada a partir da plotagem dos resultados em um gráfico de barras conforme consta no Gráfico 4.1.

Gráfico 4.1 - Resultados do abatimento de tronco de cone ou slump test. Fortaleza, Ceará. 2017.



Fonte: O autor (2018)

Dessa forma, pode-se constatar que a utilização desse tipo de efluentes tratados em ETEs para a produção do concreto torna-o mais fluido, ou seja, com uma melhor trabalhabilidade. Todas as estações apresentaram bom desempenho em proporcionar melhor trabalhabilidade do que os moldados com água de abastecimento público.

Os resultados de abatimento obtidos para os concretos moldados com esgoto tratado e com esgoto bruto se mostraram, com valores médios de 39,44 mm e 40,00 mm, respectivamente. Ao comparar esses resultados com o valor médio de abatimento obtido para o concreto moldado com água de abastecimento público, que foi de 30,56 mm, percebe-se um aumento na fluidez do concreto moldado com águas proveniente de esgoto, visto que todos os concretos foram produzidos a partir do mesmo traço padrão. Dessa forma, as substâncias presentes nesses esgotos podem funcionar como agentes plastificantes do concreto, tornando-o mais fluido, melhorando o adensamento do concreto nas formas e eventualmente permitindo redimensionar o traço do concreto diminuindo o fator/cimento ou o consumo do cimento.

4.2.3 Análise da resistência à compressão do concreto

A cada dia de moldagem, três grupos de dez corpos de prova foram moldados, cada grupo contendo uma das três águas usadas na pesquisa, dos quais dois foram rompidos com 7 dias e outros dois aos 28 dias, ficando o restante como extras para análises de rompimento com tempo mais antigo. Todos os CPs foram submetidos ao mesmo processo de cura submersos em tanques cheios de água advinda do abastecimento público. Os resultados

dos rompimentos de cada CP a 7, 28 dias e com tempos mais longos encontram-se nas Tabelas 4.5 a 4.10.

Tabela 4.5 - Ensaio de Resistência à compressão aos 7 dias. Fortaleza, Ceará. 2017.

Data da moldagem	Data do ensaio	Água Abastecimento Público		Esgoto tratado		Esgoto bruto	
		Corpo de Prova	Resistência (Mpa)	Corpo de Prova	Resistência (Mpa)	Corpo de Prova	Resistência (Mpa)
25/07/2017	01/08/2017	1.1.A	11,24	1.2.A	13,90	1.3.A	16,24
		1.1.B	14,25	1.2.B	13,63	1.3.B	15,44
27/06/2017	04/07/2017	2.1.A	19,68	2.2.A	19,53	2.3.A	19,52
		2.1.B	17,25	2.2.B	21,67	2.3.B	18,67
04/07/2017	11/07/2017	3.1.A	18,13	3.2.A	17,48	3.3.A	17,66
		3.1.B	20,57	3.2.B	19,82	3.3.B	17,99
06/07/2017	13/07/2017	4.1.A	20,99	4.2.A	19,14	4.3.A	19,32
		4.1.B	18,51	4.2.B	19,93	4.3.B	18,43
11/07/2017	18/07/2017	5.1.A	19,14	5.2.A	19,29	5.3.A	16,86
		5.1.B	18,03	5.2.B	19,92	5.3.B	18,82
12/07/2017	19/07/2017	6.1.A	17,52	6.2.A	19,09	6.3.A	19,17
		6.1.B	16,44	6.2.B	18,37	6.3.B	17,46
14/07/2017	21/07/2017	7.1.A	19,22	7.2.A	18,77	7.3.A	19,47
		7.1.B	21,09	7.2.B	17,23	7.3.B	17,93
18/07/2017	25/07/2017	8.1.A	13,01	8.2.A	17,79	8.3.A	16,44
		8.1.B	13,67	8.2.B	16,96	8.3.B	14,38

Fonte: O autor (2018)

Tabela 4.6 - Ensaio de Resistência à compressão aos 7 dias (Resumo). Fortaleza, Ceará. 2017.

Data da moldagem	Data do ensaio	Água Abastecimento Público		Esgoto tratado		Esgoto bruto	
		Corpo de Prova	Resistência (Mpa)	Corpo de Prova	Resistência (Mpa)	Corpo de Prova	Resistência (Mpa)
25/07/2017	01/08/2017	1.1.A	11,24	1.2.B	13,63	1.3.B	15,44
27/06/2017	04/07/2017	2.1.B	17,25	2.2.A	19,53	2.3.B	18,67
04/07/2017	11/07/2017	3.1.A	18,13	3.2.A	17,48	3.3.A	17,66
06/07/2017	13/07/2017	4.1.B	18,51	4.2.A	19,14	4.3.B	18,43
11/07/2017	18/07/2017	5.1.B	18,03	5.2.A	19,29	5.3.A	16,86
12/07/2017	19/07/2017	6.1.B	16,44	6.2.B	18,37	6.3.B	17,46
14/07/2017	21/07/2017	7.1.A	19,22	7.2.B	17,23	7.3.B	17,93
18/07/2017	25/07/2017	8.1.A	13,01	8.2.B	16,96	8.3.B	14,38

Fonte: O autor (2018)

Tabela 4.7 - Ensaio de Resistência à compressão aos 28 dias. Fortaleza, Ceará. 2017.

Data da moldagem	Data do ensaio	Água Abastecimento Público		Esgoto Tratado		Esgoto bruto	
		Corpo de Prova	Resistência (Mpa)	Corpo de Prova	Resistência (Mpa)	Corpo de Prova	Resistência (Mpa)
25/07/2017	22/08/2017	1.1.C	28,69	1.2.C	24,80	1.3.C	23,88
		1.1.D	23,64	1.2.D	22,19	1.3.D	23,42
27/06/2017	25/07/2017	2.1.C	23,16	2.2.C	22,04	2.3.C	20,92
		2.1.D	19,93	2.2.D	20,86	2.3.D	25,35
04/07/2017	01/08/2017	3.1.C	18,69	3.2.C	20,38	3.3.C	22,16
		3.1.D	23,02	3.2.D	22,52	3.3.D	22,85
06/07/2017	03/08/2017	4.1.C	19,21	4.2.C	19,47	4.3.C	19,43
		4.1.D	25,69	4.2.D	19,53	4.3.D	19,70
11/07/2017	08/08/2017	5.1.C	19,15	5.2.C	20,35	5.3.C	24,47
		5.1.D	18,49	5.2.D	21,14	5.3.D	20,78
12/07/2017	09/08/2017	6.1.C	19,01	6.2.C	25,58	6.3.C	20,45
		6.1.D	19,68	6.2.D	23,77	6.3.D	20,51
14/07/2017	11/08/2017	7.1.C	24,19	7.2.C	24,91	7.3.C	26,77
		7.1.D	23,14	7.2.D	21,54	7.3.D	21,49
18/07/2017	15/08/2017	8.1.C	21,02	8.2.C	23,11	8.3.C	20,21
		8.1.D	21,38	8.2.D	24,93	8.3.D	20,27

Fonte: O autor (2018)

Tabela 4.8 - Ensaio de Resistência à compressão aos 28 dias (Resumo). Fortaleza, Ceará. 2017.

Data da moldagem	Data do ensaio	Água Abastecimento Público		Esgoto tratado		Água bruta	
		Corpo de prova	Resistência (MPa)	Corpo de prova	Resistência (MPa)	Corpo de prova	Resistência (MPa)
25/07/2017	22/08/2017	1.1.D	23,64	1.2.D	22,19	1.3.D	23,42
27/06/2017	25/07/2017	2.1.D	19,93	2.2.D	20,86	2.3.C	20,92
04/07/2017	01/08/2017	3.1.C	18,69	3.2.C	20,38	3.3.C	22,16
06/07/2017	03/08/2017	4.1.C	19,21	4.2.C	19,47	4.3.C	19,43
11/07/2017	08/08/2017	5.1.D	18,49	5.2.C	20,35	5.3.D	20,78
12/07/2017	09/08/2017	6.1.C	19,01	6.2.D	23,77	6.3.C	20,45
14/07/2017	11/08/2017	7.1.D	23,14	7.2.D	21,54	7.3.D	21,49
18/07/2017	15/08/2017	8.1.C	21,02	8.2.C	23,11	8.3.C	20,21

Fonte: O autor (2018)

Tabela 4.9 - Ensaio de Resistência à compressão com tempos mais longos. Fortaleza, Ceará. 2017.

Data da moldagem	Data do ensaio	Idade (dias)	Água Abastecimento Público		Esgoto tratado		Água bruta	
			Corpo de prova	Resistência (MPa)	Corpo de prova	Resistência (MPa)	Corpo de prova	Resistência (MPa)
25/07/2017	22/11/2017	120	1.1.E	32,11	1.2.E	41,05	1.3.E	34,83
			1.1.F	39,70	1.2.F	39,53	1.3.F	38,06
	30/11/2017	128	1.1.G	36,93	1.2.G	30,82	1.3.G	36,46
			1.1.H	35,11	1.2.H	35,40	1.3.H	34,78
27/06/2017	23/10/2017	118	2.1.E	27,38	2.2.E	33,34	2.3.E	27,19
			2.1.F	25,81	2.2.F	28,09	2.3.F	20,60
	27/11/2017	153	2.1.G	51,21	2.2.G	41,12	2.3.G	42,79
			2.1.H	50,00	2.2.H	48,12	2.3.H	41,63
04/07/2017	25/10/2017	113	3.1.E	19,17	3.2.E	29,63	3-3-E	23,71
			3.1.F	28,08	3-2-F	29,07	3-3-F	22,12
	28/11/2017	147	3.1.G	40,99	3-2-G	40,31	3-3-G	43,87
			3.1.H	44,06	3.2.H	43,06	3.3.H	42,36
06/07/2017	25/10/2017	111	4.1.E	22,33	4-2-E	23,01	4-3-E	20,83
			4.1.F	26,54	4-2-F	23,55	4-3-F	31,23
	28/11/2017	145	4.1.G	36,94	4-2-G	36,27	4-3-G	38,55
			4.1.H	47,38	4.2.H	42,32	4.3.H	43,49
11/07/2017	27/10/2017	108	5.1.E	23,94	5-2-E	20,72	5-3-E	21,98
			5.1.F	24,93	5-2-F	25,88	5-3-F	22,33
	29/11/2017	141	5.1.G	43,18	5-2-G	30,18	5-3-G	39,63
			5.1.H	45,77	5.2.H	46,89	5.3.H	42,73
12/07/2017	27/10/2017	107	6.1.E	24,17	6-2-E	25,44	6-3-E	20,38
			6.1.F	25,09	6-2-F	25,41	6-3-F	22,82
	29/11/2017	140	6.1.G	36,12	6-2-G	42,39	6-3-G	34,99
			6.1.H	39,77	6.2.H	39,57	6.3.H	34,05
14/07/2017	27/10/2017	105	7.1.E	24,84	7-2-E	23,63	7-3-E	25,99
			7.1.F	22,38	7-2-F	25,39	7-3-F	23,29
	29/11/2017	138	7.1.G	46,60	7-2-G	47,47	7-3-G	45,54
			7.1.H	31,11	7.2.H	46,13	7.3.H	32,25
18/07/2017	27/10/2017	101	8.1.E	19,66	8-2-E	22,72	8-3-E	22,49
			8.1.F	23,57	8-2-F	31,62	8-3-F	18,52
	30/11/2017	135	8.1.G	29,22	8-2-G	33,64	8-3-G	38,93
			8.1.H	29,86	8.2.H	33,60	8.3.H	36,79

Fonte: O autor (2018)

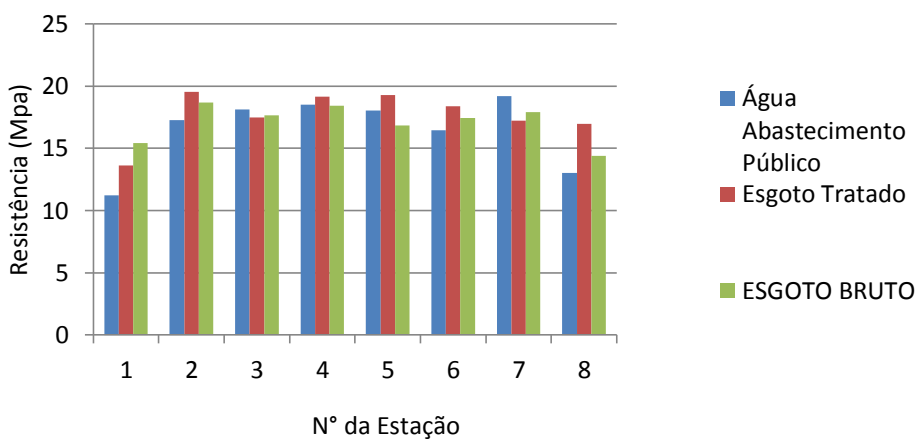
Tabela 4.10 - Ensaio de Resistência à compressão com tempos mais longos. (Resumo). Fortaleza, Ceará. 2017.

Data da moldagem	Data do ensaio	Idade (dias)	Água Abastecimento Público		Esgoto tratado		Água bruta	
			Corpo de prova	Resistência (MPa)	Corpo de prova	Resistência (MPa)	Corpo de prova	Resistência (MPa)
25/07/2017	22/11/2017	120	1.1.E	32,11	1.2.F	39,53	1.3.E	34,83
	30/11/2017	128	1.1.H	35,11	1.2.G	30,82	1.3.H	34,78
27/06/2017	23/10/2017	118	2-1-F	25,81	2-2-F	28,09	2.3.F	20,60
	27/11/2017	153	2.1.H	50,00	2-2-G	41,12	2.3.H	41,63
04/07/2017	25/10/2017	113	3-1-E	19,17	3-2-F	29,07	3-3-F	22,12
	28/11/2017	147	3-1-G	40,99	3-2-G	40,31	3.3.H	42,36
06/07/2017	25/10/2017	111	4-1-E	22,33	4-2-E	23,01	4-3-E	20,83
	28/11/2017	145	4-1-G	36,94	4-2-G	36,27	4-3-G	38,55
11/07/2017	27/10/2017	108	5-1-E	23,94	5-2-E	20,72	5-3-E	21,98
	29/11/2017	141	5-1-G	43,18	5-2-G	30,18	5-3-G	39,63
12/07/2017	27/10/2017	107	6-1-E	24,17	6-2-F	25,41	6-3-E	20,38
	29/11/2017	140	6-1-G	36,12	6.2.H	39,57	6.3.H	34,05
14/07/2017	27/10/2017	105	7-1-F	22,38	7-2-E	23,63	7-3-F	23,29
	29/11/2017	138	7.1.H	31,11	7.2.H	46,13	7.3.H	32,25
18/07/2017	27/10/2017	101	8-1-E	19,66	8-2-E	22,72	8-3-F	18,52
	30/11/2017	135	8-1-G	29,22	8.2.H	33,60	8.3.H	36,79

Fonte: O autor (2018)

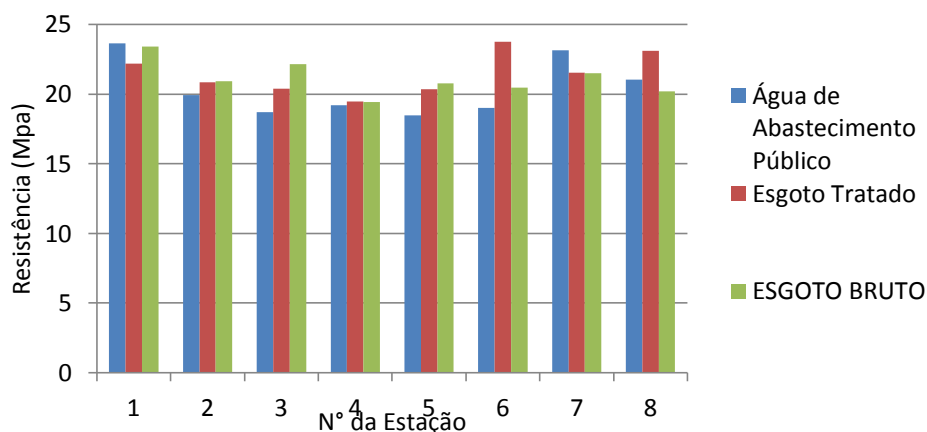
Considerando os valores médios de resistência à compressão, obtidos a partir dos dois corpos de prova ensaiados para cada estação, é possível construir um gráfico comparando os valores obtidos para cada estação, conforme consta a seguir para as idades de 7 dias, 28 dias e acima de 120 dias (Gráficos 4.2 a 4.4).

Gráfico 4.2 - Resistência à compressão aos 7 dias para a água de abastecimento público, esgoto tratado e esgoto bruto da EPC e das ETEs. Fortaleza, Ceará. 2017.



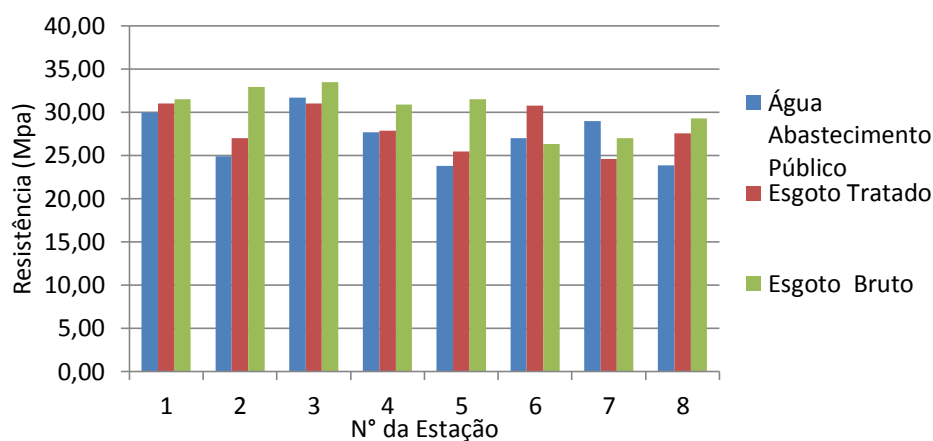
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.3 - Resistência à compressão aos 28 dias para a água de abastecimento público, esgoto tratado e esgoto bruto da EPC e das ETEs. Fortaleza, Ceará. 2017.



Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.4 - Resistência à compressão aos 120 dias calculada por meio das curvas de regressão logarítmicas para a água de abastecimento público, esgoto tratado e esgoto bruto da EPC e das ETEs. Fortaleza, Ceará. 2017.



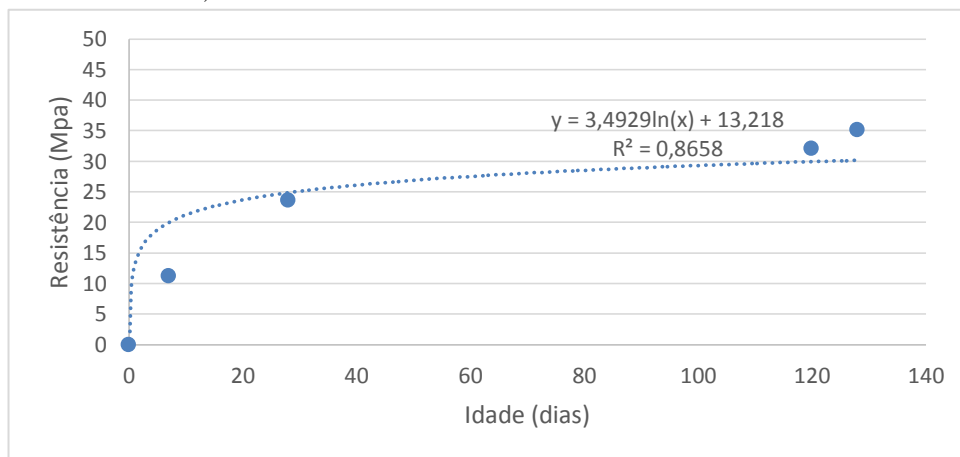
Fonte: O autor (2018)

A partir da análise dos dados e gráficos, constata-se que os resultados obtidos para as várias estações, numa mesma idade, se mantiveram bastante próximos, com alguns poucos resultados com variações. Além disso, é possível perceber uma tendência de maior resistência à compressão nos corpos de prova moldados utilizando esgoto tratado e esgoto bruto, o que permite constatar que a troca da água potável fornecida pelo abastecimento público por água de reúso não tem influência negativa na resistência à compressão do concreto produzido, permitindo obter valores de resistência até maiores.

Considerando isoladamente cada estação, foi possível gerar um gráfico com uma curva de tendência dos resultados ao longo do tempo, para cada tipo de efluente, utilizando para isso a técnica estatística da curva de regressão logarítmica. Os Gráficos 4.5 a 4.36

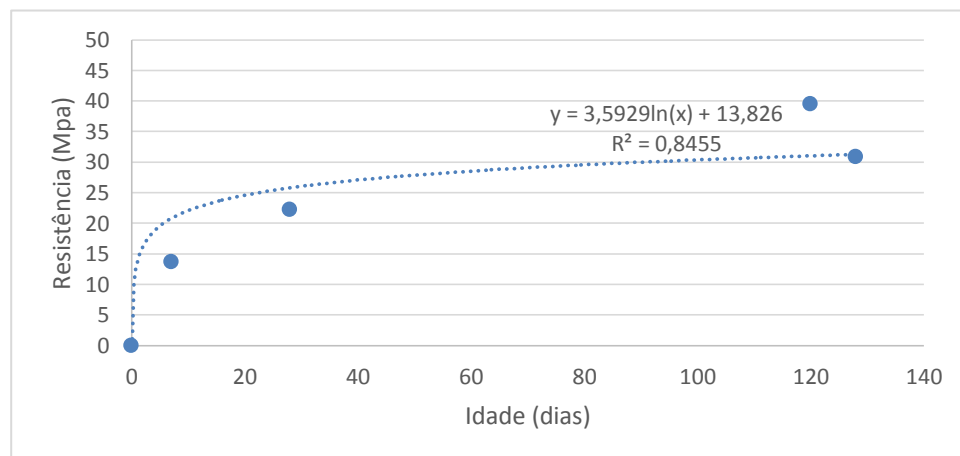
apresentam os resultados para cada uma das setes ETEs e para a EPC, para os três tipos de efluente.

Gráfico 4.5 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da EPC - Água de Abastecimento Público. Fortaleza, Ceará. 2017.



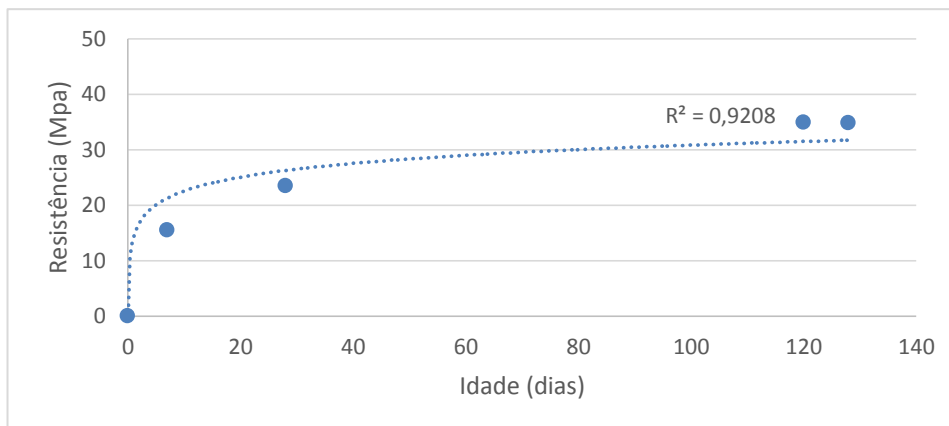
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.6 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da EPC - Esgoto Tratado. Fortaleza, Ceará. 2017.



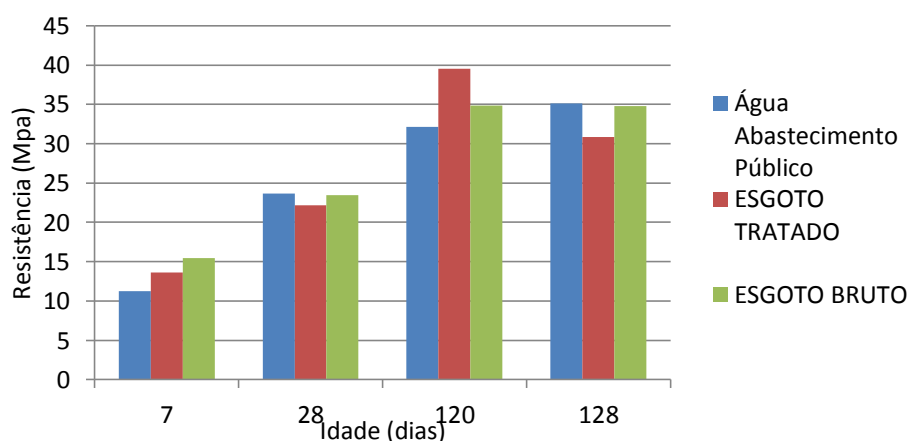
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.7 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da EPC - Esgoto Bruto. Fortaleza, Ceará. 2017.



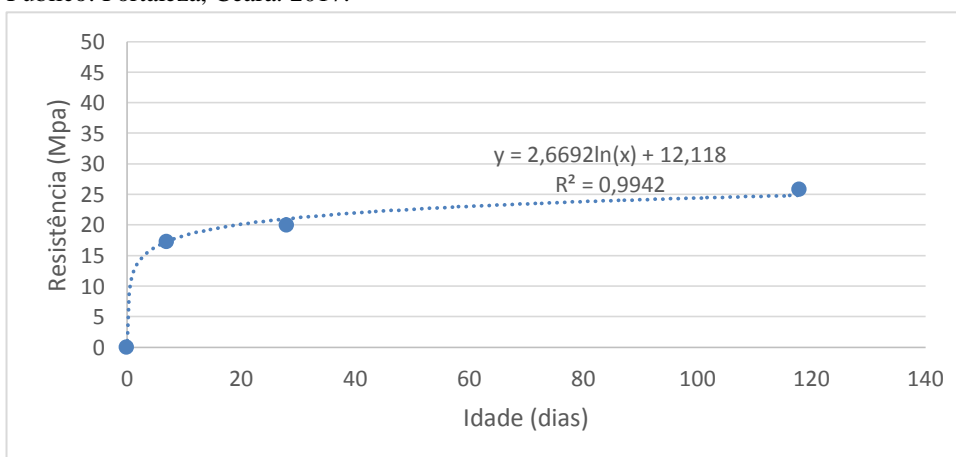
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.8 - Comparativo dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da EPC com os três tipos de efluentes. Fortaleza, Ceará. 2017.



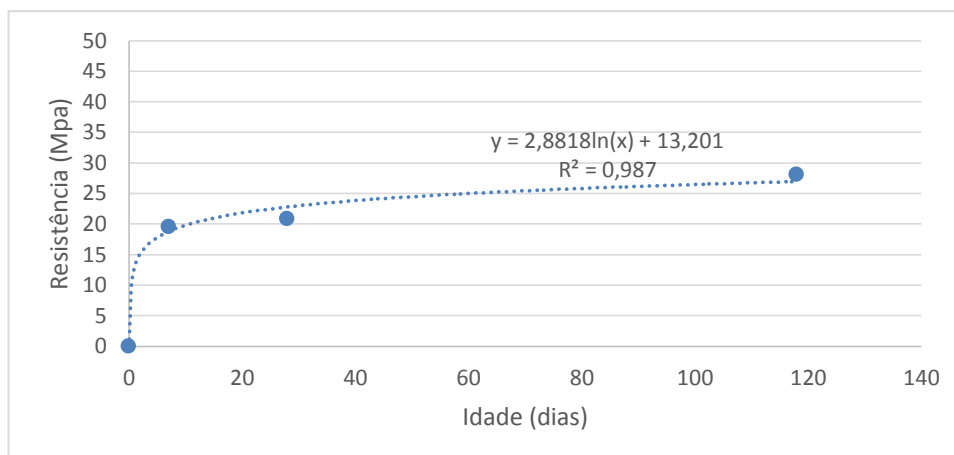
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.9 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 2 - Água de Abastecimento Público. Fortaleza, Ceará. 2017.



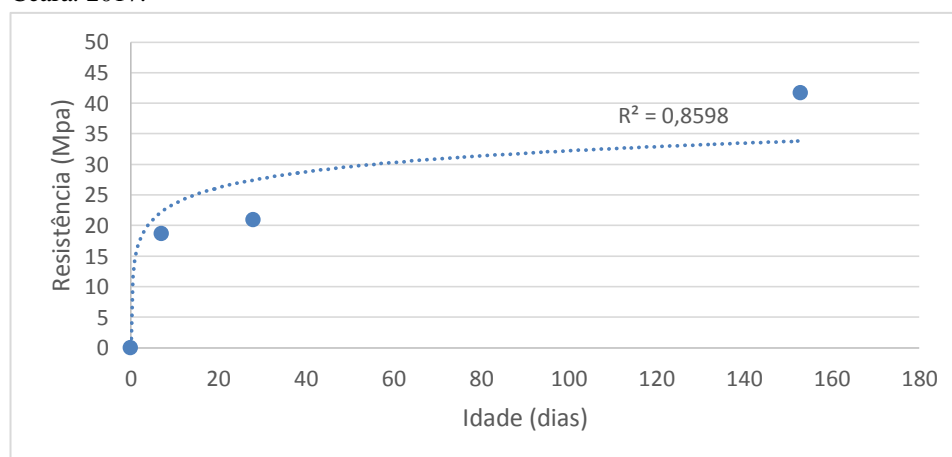
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.10 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 2 - Esgoto Tratado. Fortaleza, Ceará. 2017.



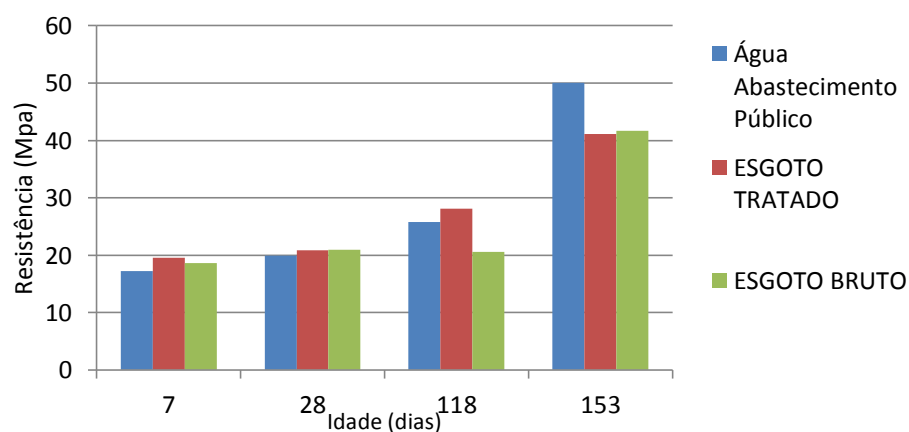
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.11 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 2 - Esgoto Bruto. Fortaleza, Ceará. 2017.



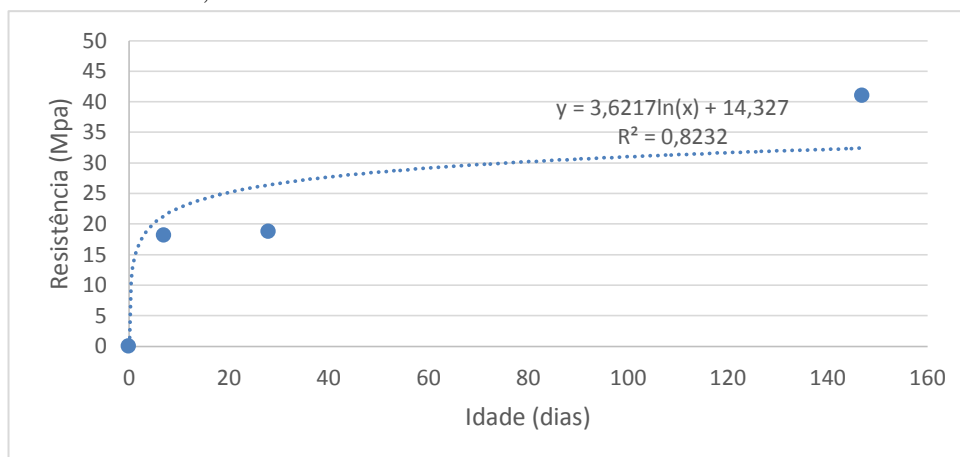
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.12 - Comparativo dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 2 com os três tipos de efluentes. Fortaleza, Ceará. 2017.



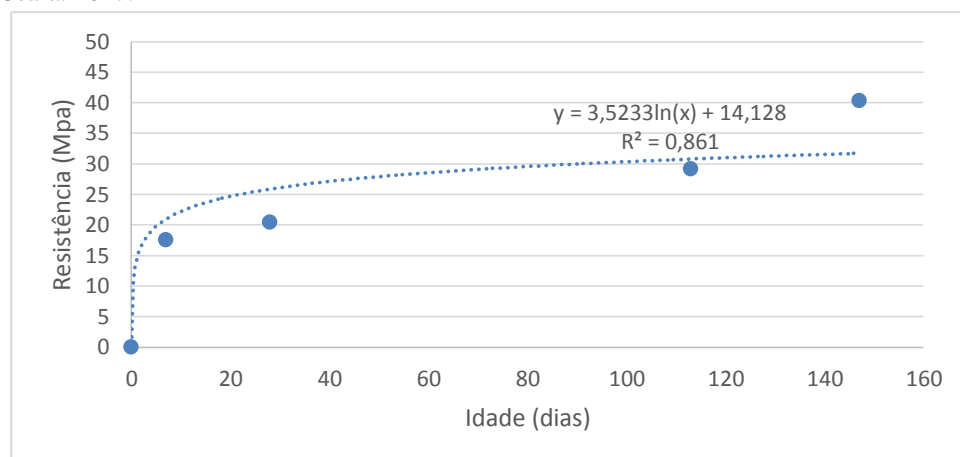
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.13 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 3 - Água de Abastecimento Público. Fortaleza, Ceará. 2017.



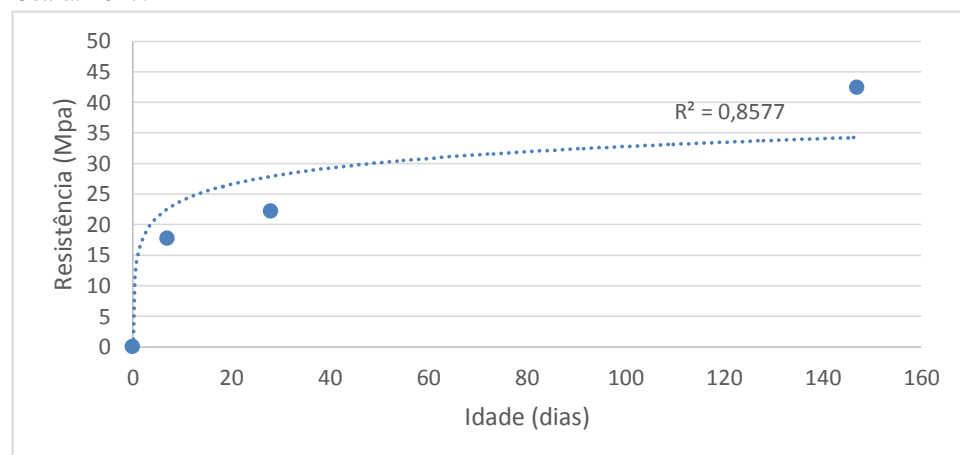
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.14 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 3 - Esgoto Tratado. Fortaleza, Ceará. 2017.



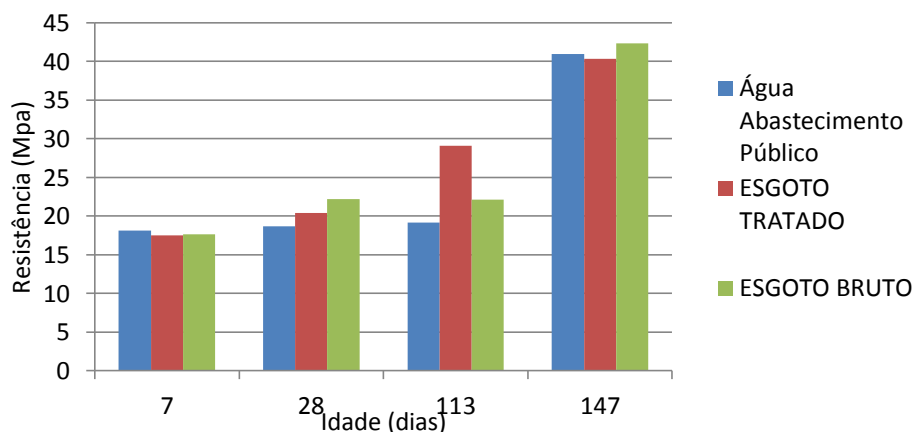
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.15 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 3 - Esgoto Bruto. Fortaleza, Ceará. 2017.



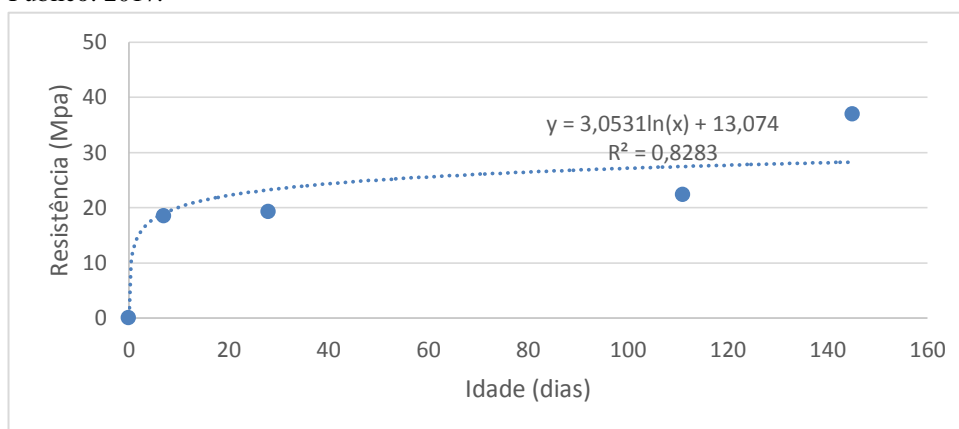
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.16 - Comparativo dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 3 com os três tipos de efluentes. 2017.



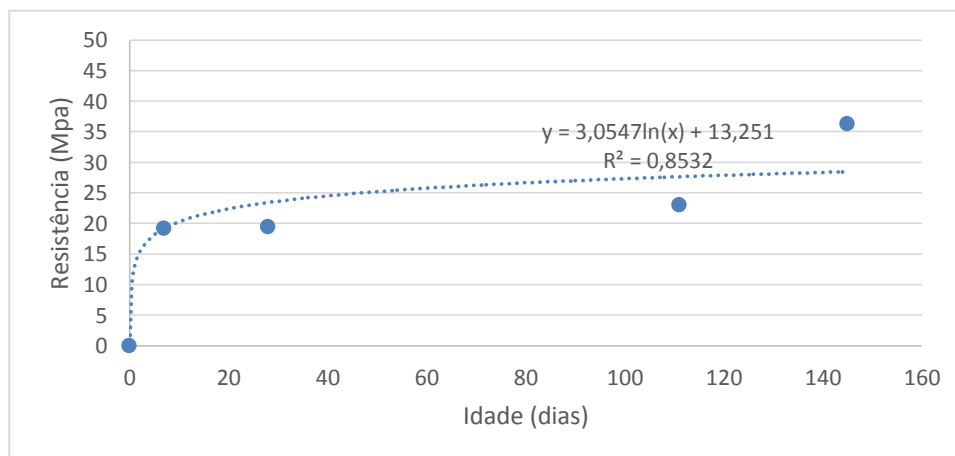
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.17 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 4 - Água de Abastecimento Público. 2017.



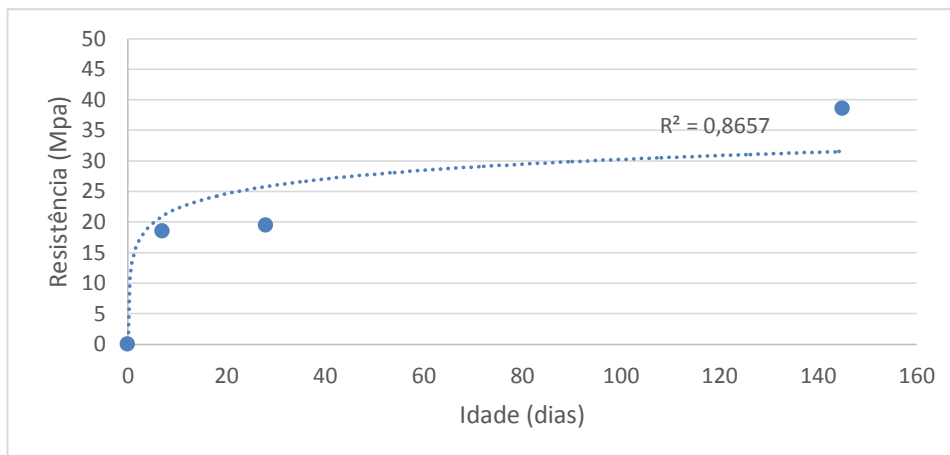
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.18 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 4 - Esgoto Tratado. Fortaleza, Ceará. 2017.



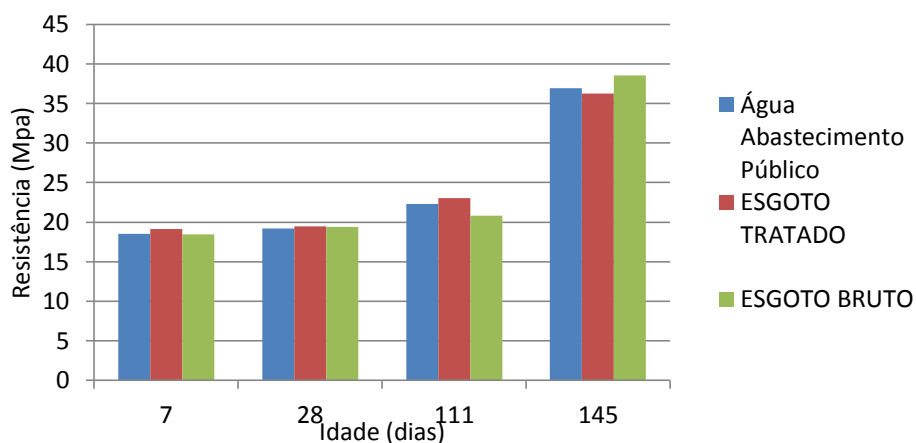
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.19 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 4 - Esgoto Bruto. Fortaleza, Ceará. 2017.



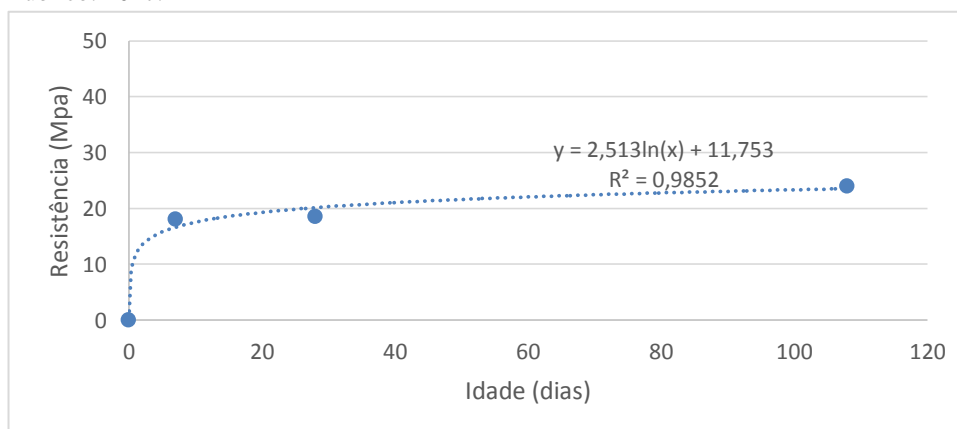
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.20 - Comparativo dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 4 com os três tipos de efluentes. 2017.



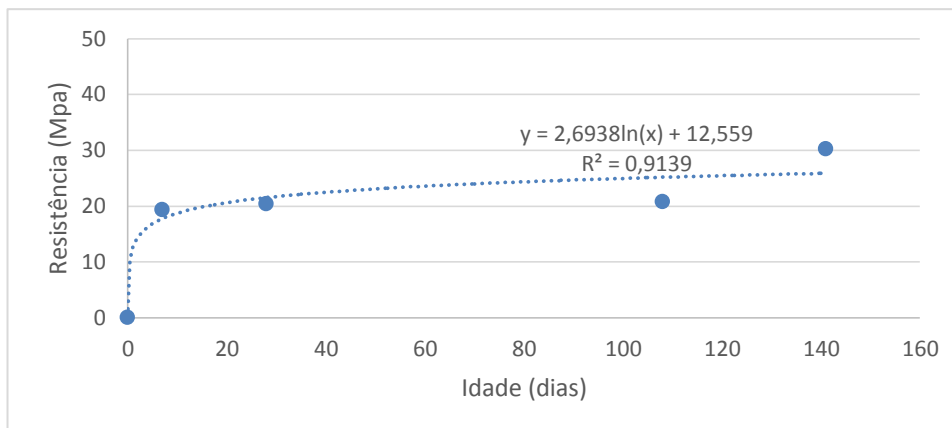
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.21 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 5 - Água de Abastecimento Público. 2017.



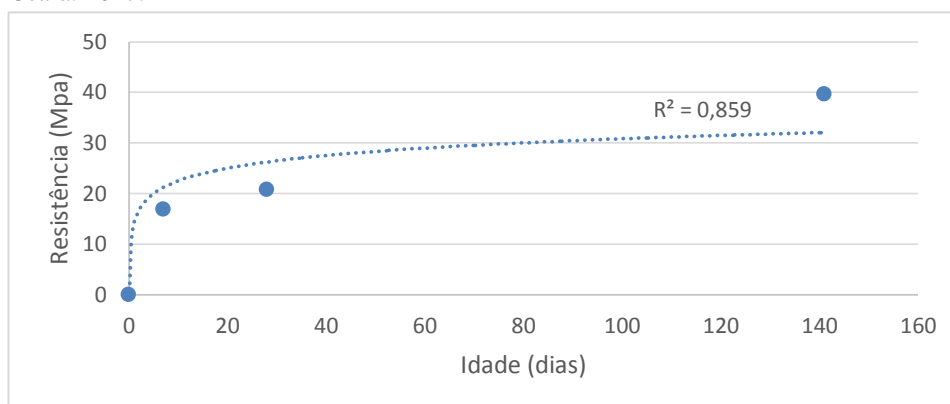
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.22 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 5 - Esgoto Tratado. Fortaleza, Ceará. 2017.



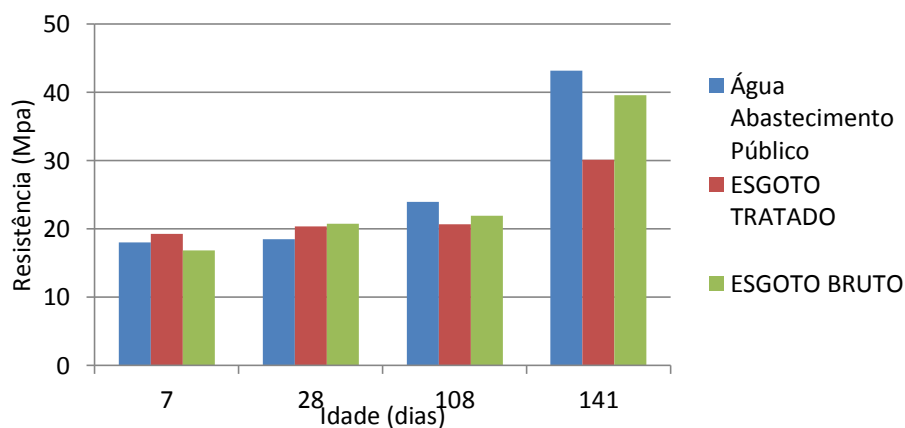
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.23 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 5 - Esgoto Bruto. Fortaleza, Ceará. 2017.



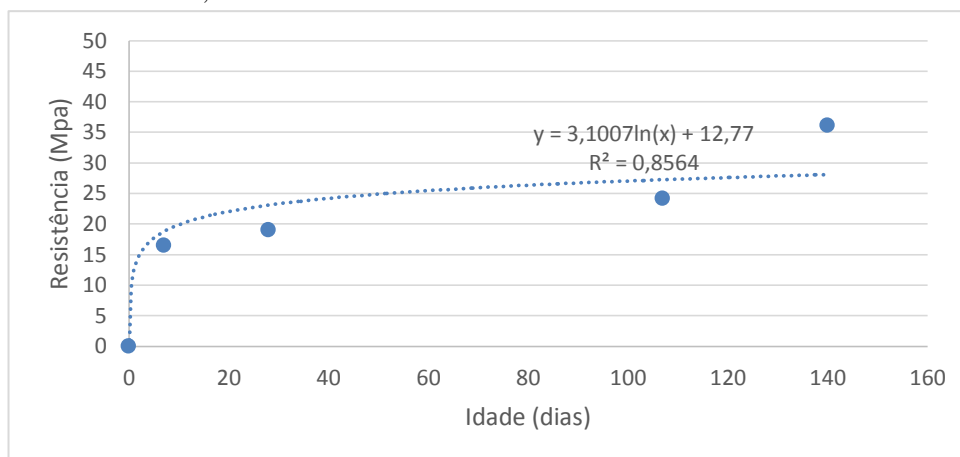
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.24 - Comparativo dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 5 com os três tipos de efluentes. Fortaleza, Ceará. 2017.



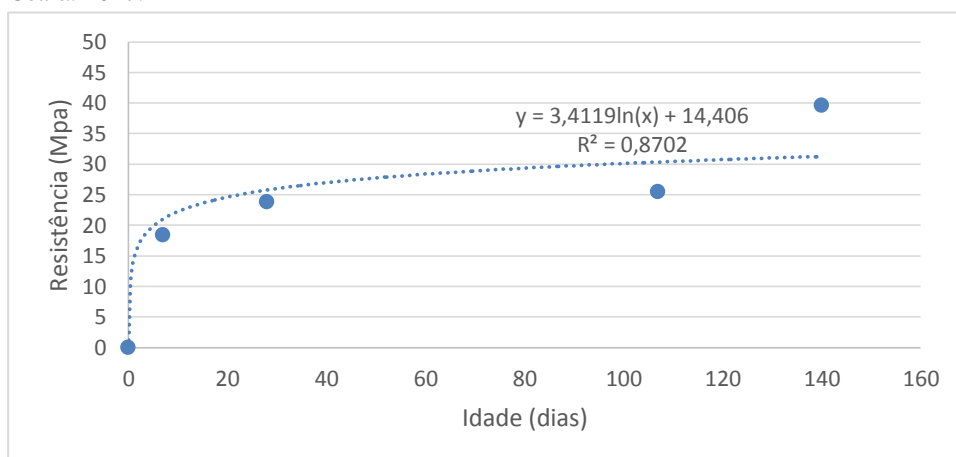
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.25 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 6 - Água de Abastecimento Público. Fortaleza, Ceará. 2017.



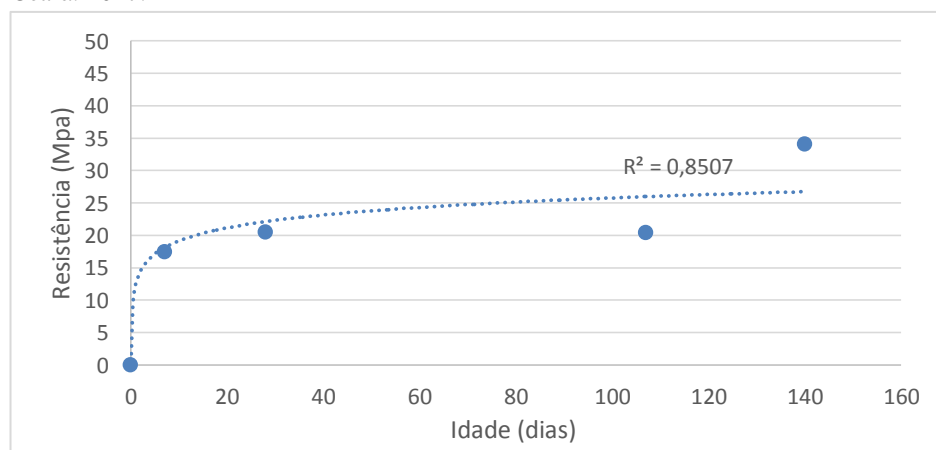
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.26 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 6 - Esgoto Tratado. Fortaleza, Ceará. 2017.



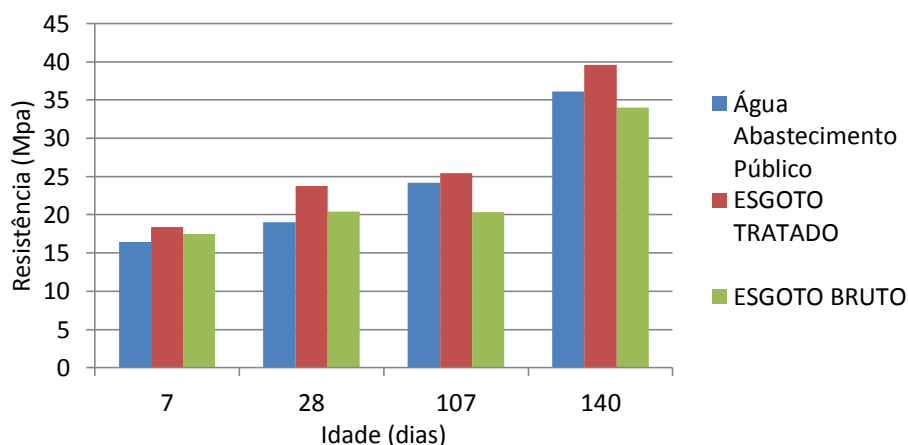
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.27 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 6 - Esgoto Bruto. Fortaleza, Ceará. 2017.



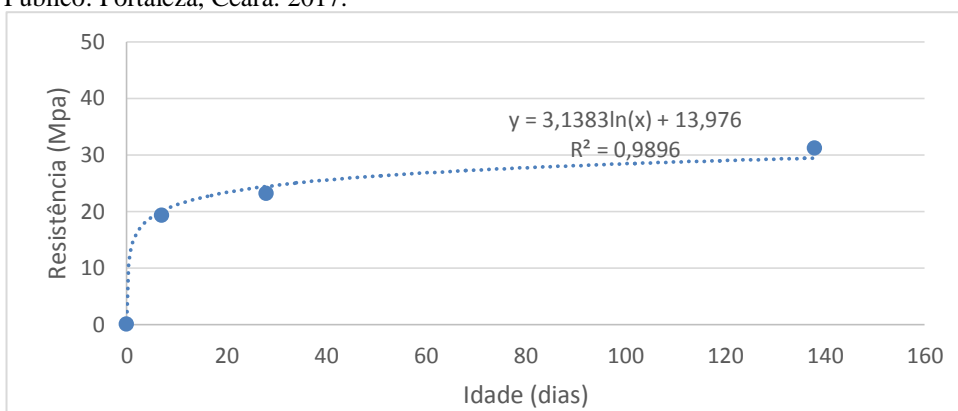
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.28 - Comparativo dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 6 com os três tipos de efluentes. Fortaleza, Ceará. 2017.



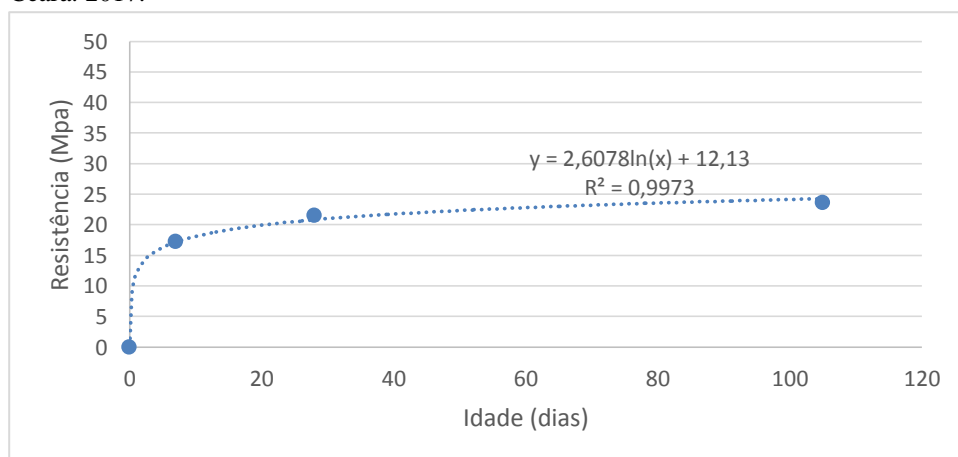
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.29 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 7 - Água de Abastecimento Público. Fortaleza, Ceará. 2017.



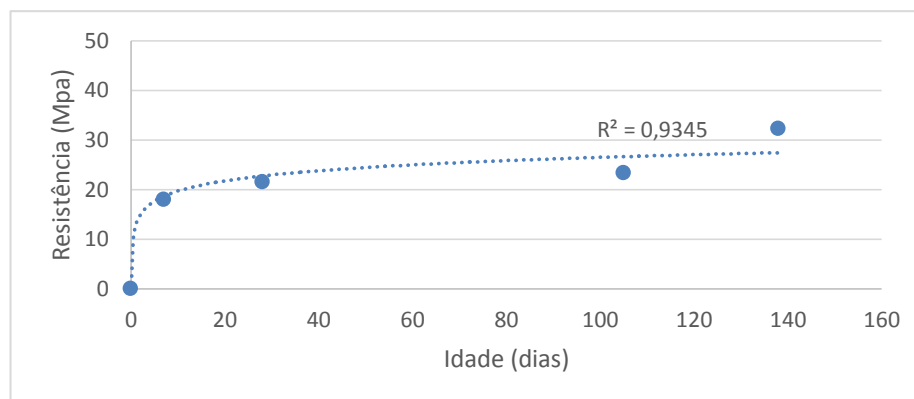
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.30 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 7 - Esgoto Tratado. Fortaleza, Ceará. 2017.



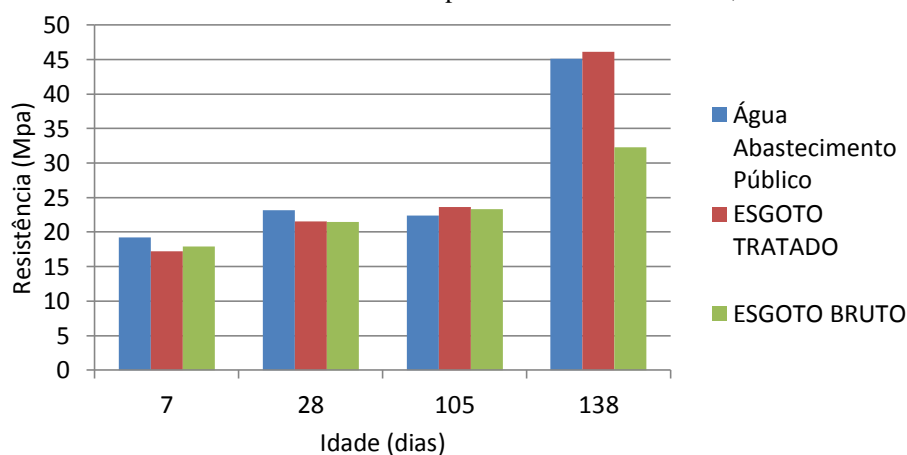
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.31 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 7 - Esgoto Bruto. Fortaleza, Ceará. 2017.



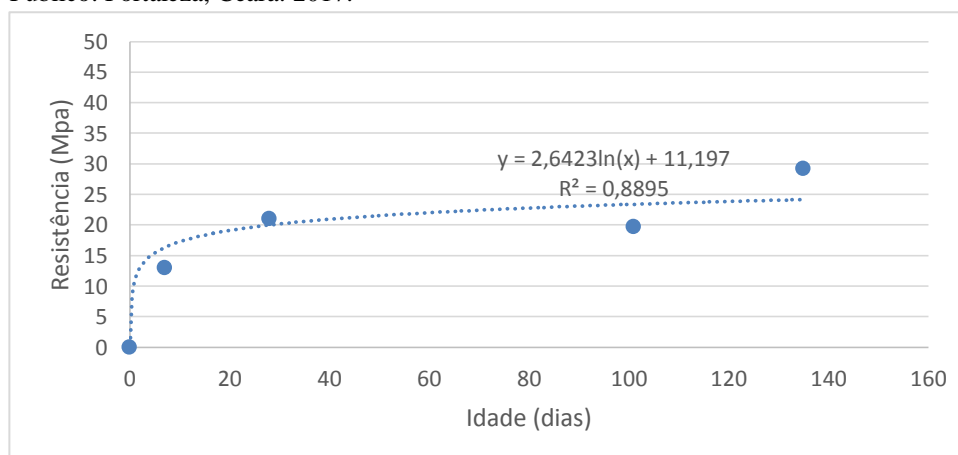
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.32 - Comparativo dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 7 com os três tipos de efluentes. Fortaleza, Ceará. 2017.



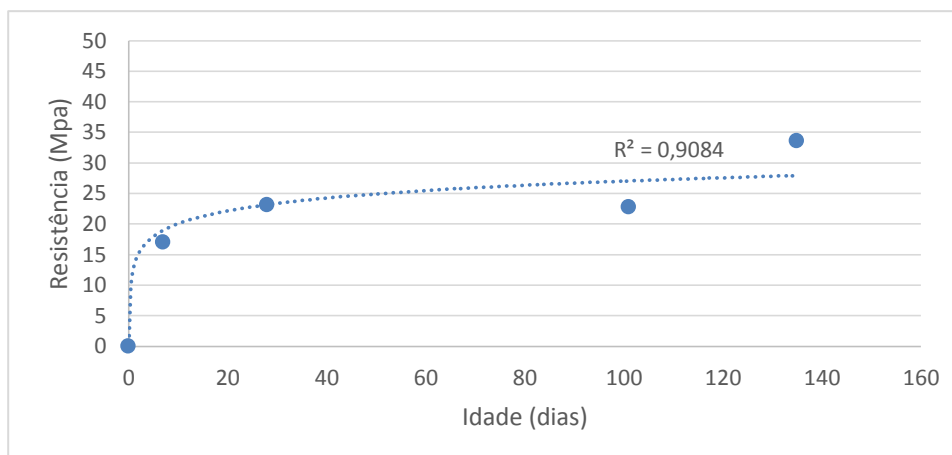
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.33 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 8 - Água de Abastecimento Público. Fortaleza, Ceará. 2017.



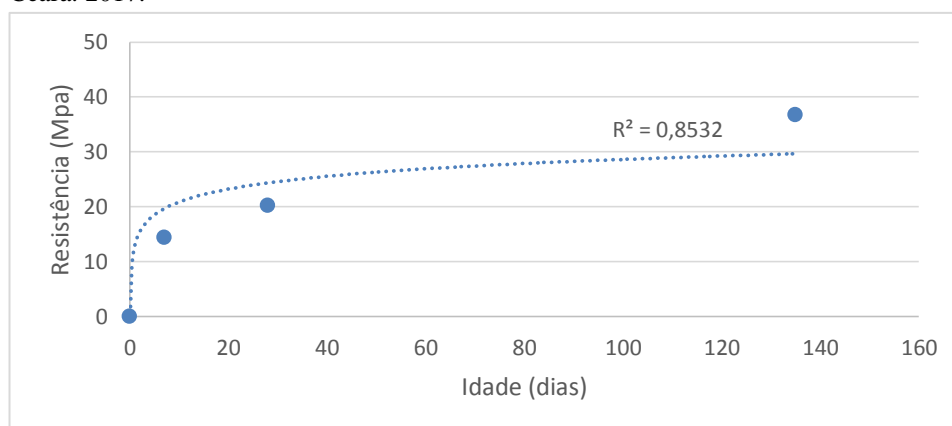
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.34 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 8 - Esgoto Tratado. Fortaleza, Ceará. 2017.



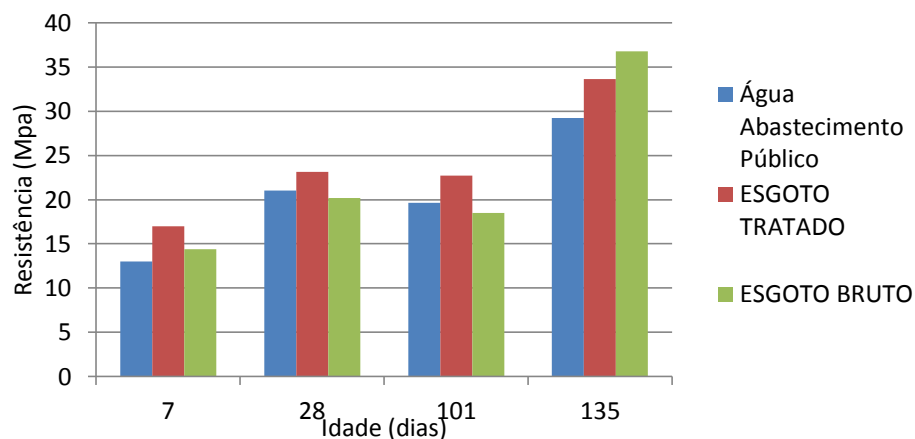
Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.35 - Curva de regressão logarítmica gerada a partir dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 8 - Esgoto Bruto. Fortaleza, Ceará. 2017.



Fonte: O autor (2018)

Gráfico 4.36 - Comparativo dos valores de resistência à compressão dos CPs rompidos nas mesmas datas da ETE 8 com os três tipos de efluentes. 2017.



Fonte: O autor (2018)

Analisando os gráficos, é possível notar que a regressão logarítmica se adapta bem aos resultados, representando bem a tendência dos resultados ao longo do tempo. A partir da geração da curva de regressão logarítmica é possível obter ainda o valor do coeficiente de determinação, o R^2 . O coeficiente de determinação apresentou em todas as curvas de todas as estações ensaiadas valores no intervalo de 0,85 a 0,99, desta forma, mostrando-se ajustada e apropriada para projeções de valores em datas diferentes das ensaiadas.

Outro ponto importante observado a partir da análise dos resultados de resistência à compressão nas várias idades ensaiadas, o fato dos resultados para o concreto moldado com água de abastecimento público, esgoto tratado e esgoto bruto apresentaram resultados semelhantes. Mostrando que os concretos moldados com esgoto tratado e bruto apresentam o mesmo desempenho à compressão que o concreto moldado com água de abastecimento público.

De forma geral, analisando os dois ensaios em conjunto, percebe-se que, conservando o mesmo traço do concreto produzido, alterando somente o tipo de água utilizada, a troca de água de abastecimento público por esgoto tratado e bruto gera uma melhoria na trabalhabilidade do concreto, com maiores valores de abatimento, mas sem produzir diminuição da resistência à compressão.

5 CONCLUSÃO

O estudo apresentou resultados positivos, transmitindo confiança e otimismo, na eficiência demonstrada pela ação antimicrobiana do cimento Portland – AACP, possibilitando e estimulando o uso de esgoto tratado na indústria do concreto.

O uso de efluentes tratados na indústria do concreto viabiliza-se pelos resultados tecnológicos aferidos no concreto, que mantém sua resistência à compressão equivalente ao produzido com água de abastecimento público.

Conclui-se, também, que os ensaios de *slump test* apresentaram excelentes resultados, percebendo-se uma clara tendência de maior trabalhabilidade em concretos fabricados com efluentes. Isso facilita sua utilização em concretos em que não se utiliza aço, como a fabricação de Pavimento Intertravado de Pré-moldado de Concreto. A fabricação de concreto com aço, no nível deste estudo, ainda não pode ser indicada.

Os resultados positivos de decaimento microbianos proporcionando pelo AACP, evidenciam em seu uso como antimicrobiano e sanitizante. Além disto, atua em um curto espaço de tempo, menos de trinta minutos, proporcionando mais segurança para os trabalhadores do setor.

Pressupõem-se, desta forma, que o uso do esgoto tratado na indústria de concreto pode-se viabilizar, devido à presença da ação antimicrobiana no cimento - AACP, que promove significativo decaimento dos microrganismos ensaiados, tornando mais segura a sua utilização. Isso pode contribuir para o aumento da oferta de água em regiões como o semiárido do Brasil, liberando a água dos mananciais de melhor qualidade para outros usos, como o abastecimento humano, além de evitar o lançamento desses esgotos diretamente nos corpos hídricos.

Pressupõe-se, que no campo Ecotoxicologia, esse trabalho possa promover a retirada, do meio ambiente, de eventuais substâncias indesejáveis, como o zinco, o chumbo, entre outros. Estudos devem ser realizados objetivando o encapsulamento, com segurança, destas no concreto.

Embora os testes tenham sido realizados utilizando esgoto bruto, situação mais desfavorável, comparada ao esgoto tratado, quanto à presença de microrganismos, recomenda-se que o uso de esgoto na produção de concreto seja feito após tratamento adequado, com uso dos necessários equipamentos de proteção individual (EPIs), de forma a reduzir os riscos de contaminação dos trabalhadores.

Sugerimos como continuidade deste estudo as seguintes propostas:

1- Avaliar as implicações advindas do uso de afluentes tratados em ETEs, junto ao aço, objetivando o uso deste no concreto armado.

2- Avaliar a durabilidade e permeabilidade do concreto moldado com esgoto tratado em ETEs

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 12655 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016.
- ABNT. **NBR 15900-1 - Água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009a.
- ABNT. **NBR 15900-3 - Água para amassamento do concreto. Parte 3: Avaliação preliminar**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009b.
- ABNT. **NBR 15900-4 - Água para amassamento do concreto. Parte 4: Análise química - Determinação de zinco solúvel em água**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009c.
- ABNT. **NBR 15900-5 - Água para amassamento do concreto. Parte 5: Análise química - Determinação de chumbo solúvel em água**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009d.
- ABNT. **NBR 15900-6 - Água para amassamento do concreto. Parte 6: Análise química - Determinação de cloreto solúvel em água**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009e.
- ABNT. **NBR 15900-7 - Água para amassamento do concreto. Parte 7: Análise química - Determinação de sulfato solúvel em água**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009f.
- ABNT. **NBR 15900-8 - Água para amassamento do concreto. Parte 8: Análise química - Determinação de fosfato solúvel em água**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009g.
- ABNT. **NBR 15900-9 - Água para amassamento do concreto. Parte 9: Análise química - Determinação de álcalis solúveis em água**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009h.
- ABNT. **NBR 15900-10 - Água para amassamento do concreto. Parte 10: Análise química - Determinação de nitrato solúvel em água**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009i.
- ABNT. **NBR 15900-11 - Água para amassamento do concreto. Parte 11: Análise química - Determinação de açúcar solúvel em água**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009j.
- ABNT. **NBR 16607 - Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017.
- ABNT. **NBR 16697 - Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018.
- ABNT. **NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016.

ABNT. **NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018.

ABNT. **NBR 7211 - Agregados para Concreto - Especificação**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009k.

ABNT. **NBR 9935 - Agregados - Terminologia**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.

ABNT. **NBR 9936 - Agregados - Determinação do teor de partículas leves - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.

ABNT. **NBR NM 53 - Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009l.

ABNT. **NBR NM 67 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998.

ABNT. **NBR NM 248 - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.

ABCP. **Propriedades do concreto fresco. Estudo Técnico 15 – ET 15**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2000.

ABREU, É. F. de. **Estudo da Diversidade Microbiana Metanogênica em Reatores UASB Tratando Esgoto Sanitário**. 2007. Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 2007.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington, D.C.: American Public Health Organization, 1998. .

ANA. **Reúso de água agrícola e florestal**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2014.

ANDERSON, K.; SALLIS, P.; UYANIK, S. Anaerobic treatment processes. In: MARA, D.; HORAN, N. (Ed.). **Handbook of water and wastewater microbiology**. London: Academic Press, 2003. p. 391–426.

ANGELAKIS, A. N.; SNYDER, S. A. Wastewater Treatment and Reuse: Past, Present, and Future. **Water Utility Journal**, v. 7, n. 9, p. 4887–4895, 9 set. 2015.

ANGELAKIS, A.N.; GIKAS, P. 2014. Water reuse: Overview of current practices and trends in the world with emphasis on EU states. **Water Utility Journal**, v. 7, p. 67-78, 2014.

ANTHONISEN, A. C.; PRAKASAM, T. B. S.; KODUKULA, P. S. Role of pH in Biological Wastewater Treatment Processes. In: BAZIN, M. J.; PROSSER, J. I. (Ed.). **Physiological Models in Microbiology**. Boca Raton: CRC Press, 1988.

ARCHER, D. B.; KIRSOP, B. H. The microbiology and control of anaerobic digestion. In: WHEATLEY, A. (Ed.). **Anaerobic Digestion: A waste treatment technology**. Critical Reports on Applied Chemistry. New York: Springer, 1990. p. 43–91.

ASANO, T.; MAEDA, M.; TAKAKI, M. Wastewater reclamation and reuse in Japan: Overview and implementation examples. **Water Science and Technology**, Water Quality International '96 Part 7: Agro-Industries Waste Management; Appropriate Technologies and Waste Stabilization Ponds; Wastewater Reclamation and Reuse. v. 34, n. 11, p. 219–226, 1 Jan. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. São Paulo: ABCP, 2002.

BÄCKHED, F.; LEY, R. E.; SONNENBURG, J. L.; PETERSON, D. A.; GORDON, J. I. Host-Bacterial Mutualism in the Human Intestine. **Science**, v. 307, n. 5717, p. 1915–1920, 25 mar. 2005.

BARESEL, C. et al. **Reuse of treated wastewater for non potable use (ReUse)**. Stockholm, Sweden: IVL Swedish Environmental Research Institute, 2016.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Metais e Sólidos: Resíduos de Estação de água. In: **1º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, ABES. João Pessoa, 2001.

BAUER, F. L. A. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Ltda, 1997. v. 1 e 2.

BAZZOLI, N. **O Uso da Desinfecção no Combate à Cólera. Apostila da Fundação Nacional de Saúde - Coordenação Regional de Minas Gerais**. Recife: FNS / OPAS, 1993.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de Efluentes e Reúso da Água no Meio Agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, p. 152–169, 2008.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução No. 274, de 25 de janeiro de 2001. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2001.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução No. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução No. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução No. 357, de 17 de março de 2005**, Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011.

CALIJURI, M. C.; VARESCHE, M. B. A.; MEDIONDO, E. M.; PELLIZARI, V. H.; VAZOLLER, R. F.; CALIJURI, M. L.; DOMINGOS, M. D.; DOS SANTOS, A. C. **Estudo dos sistemas naturais e artificiais redutores de cargas poluidoras para a sustentabilidade dos recursos hídricos do baixo Ribeira de Iguape, SP**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. FAPESP, 2003. .

CAMPOS, J. R. (ed.). **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES / FINEP, 1999.

CARVALHO, D. R.; FORTUNATO, J. N.; VILELA, A. F.; BADARÓ, A. C. L. Avaliação da Qualidade Físico-Química e Microbiológica da Água de um Campus Universitário de Ipatinga - MG. **NUTRIR GERAIS - Revista Digital de Nutrição**, v. 3, n. 5, p. 417–427, 2009.

CASTANHEIRA, B. A. M. G. **Mecanismos de Resistência a Antibióticos**. 2013. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, 2013.

CEARÁ. CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº. 02, de 02 de fevereiro de 2017: Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras**. Fortaleza: COEMA, 2017.

CHASIN, A. A. M.; PEDROZO, M. de F. M. O Estudo da Toxicologia. In: AZEVEDO, F. A. DE; CHASIN, A. A. M. (Ed.). **As Bases Toxicológicas da Ecotoxicologia**. São Carlos: Rima Editora, 2004. p. 1–25.

CHEN, W.; LU, S.; JIAO, W.; WANG, M.; CHANG, A. C. Reclaimed Water: A Safe Irrigation Water Source? **Environmental Development**, v. 8, p. 74–83, out. 2013.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípio do tratamento biológico de águas residuárias - Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.

CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. Microbiological Examination - Detection of enteric viruses. In: AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (Ed.). **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 20. ed. Washington, DC: APHA. AWWA.WEF, 1998. p. 9–131.

CMHC. **Research Highlight: Water Reuse Standards and Verification Protocol**: Technical Series. Ottawa: Canada Mortgage and Housing Corporation, 2006. .

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Proposta de Disciplinamento do Reúso Direto Não Potável de Água Proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário para Fins Urbanos: Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH**. São Paulo: CETESB, 2012.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO ESTADO DO CEARÁ **Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto (EPC)**, 2018. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/esgotamento-sanitario/estacao-de-pre-condicionamento-de-esgoto>. Acesso em: 14/05/2018.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Técnicas de análises bacteriológicas da água: membrana filtrante**. São Paulo: CETESB, 2009.

COSTA, A. B.; LIMA, L. R.; LOBO, E. A.; BRENTANO, D. M. Avaliação física, Química e Toxicológica do Sedimento produzido em Estações de Tratamento de Água (ETAs) para Abastecimento Público. In: **22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES**. Joinville, 2003.

CROOK, J. Critério de Qualidade da Água para Reúso. **Revista DAE-SABESP**, n. 174, p. 10–18, 1993.

CUBILLOS, A. **Calidad y Control de La poluciondel Agua**. Mérida: CIDIAT/Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1981.

DUARTE, A. de S. **Reúso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicumannun L.*)**. 2006. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2006.

DUARTE, P. B. **Microrganismos indicadores de poluição fecal em recursos hídricos**. 2011. Universidade Feral de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas, Belo Horizonte, 2011.

ECKBURG, P. B.; BIK, E. M.; BERNSTEIN, C. N.; PURDOM, E.; DETHLEFSEN, L.; SARGENT, M.; GILL, S. R.; NELSON, K. E.; RELMAN, D. A. Diversity of the Human Intestinal Microbial Flora. **Science**, 14 abr. 2005. Disponível em: <<http://science.sciencemag.org/content/early/2005/04/14/science.1110591>>. Acessoem: 15 maio. 2018.

EGUCHI, S. Y. **Agentes antimicrobianos. Pontos críticos microbiológicos em usinas de açúcar e álcool**, p. 1–22, 1989.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **2004 Guidelines for Water Reuse**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2004.

EPA. **Case studies on implementing low-cost modifications to improve nutrient reduction at wastewater treatment plants**. Washington, DC : Environmental Protection Agency, 2015.

ESTENDER, A. C.; TAKEUTI, C. H. S; JULIANO, M. C. Gestão ambiental e a utilização da água de reúso em tinturarias. **Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 1, n. 2, p. 237-255, 2015.

FERNANDEZ, A. S.; HASHSHAM, S. A.; DOLLHOPF, S. L.; RASKIN, L.; GLAGOLEVA, O.; DAZZO, F. B.; HICKEY, R. F.; CRIDDLE, C. S.; TIEDJE, J. M. Flexible Community Structure Correlates with Stable Community Function in Methanogenic Bioreactor Communities Perturbed by Glucose. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 66, n. 9, p. 4058–4067, 1 set. 2000.

FERNÍCOLA, N. A. G. G. de; BOHRER-MOREL, M. B.; BAINY, A. C. D. Ecotoxicologia. In: AZEVEDO, F. A. DE; CHASIN, A. A. DA M. (Ed.). **As Bases Toxicológicas da Ecotoxicologia**. São Carlos: Rima Editora, 2004. p. 221–242.

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

FORESTI, E.; ZAIAT, M.; VALLERO, M. Anaerobic Processes as the Core Technology for Sustainable Domestic Wastewater Treatment: Consolidated Applications, New Trends, Perspectives, and Challenges. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 5, n. 1, p. 3–19, 1 fev. 2006.

FUSCO, P. B. **Tencologia do Concreto Estrutural**. São Paulo: Pini, 2008.

GASSERT, F., M. LUCK, M. LANDIS, P. REIG, and T. SHIAO. **Aqueduct Global Maps 2.1: Constructing Decision-Relevant Global Water Risk Indicators**. Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute, 2014. Disponível em: <<http://www.wri.org/publication/aqueduct-globalmaps-21-indicators>> Acesso em: 26 Jun. 2018.

GNIPPER, S. F. Avaliação da eficiência das caixas retentoras de gordura prescritas pela NBR 8160:1999 como tanques de flotação natural. **Revista Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 119–132, 2008.

GORCHEV, H. G.; OZOLINS, G. WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. **WHO Chronicle**, v. 38, n. 3, p. 104–108, 1984.

GUDE, V. G. Desalination and Water Reuse to Address Global Water Scarcity. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 16, n. 4, p. 591–609, 1 dez. 2017.

HARRIS-LOVETT, S. R.; BINZ, C.; SEDLAK, D. L.; KIPARSKY, M.; TRUFFER, B. Beyond User Acceptance: A Legitimacy Framework for Potable Water Reuse in California. **Environmental Science & Technology**, v. 49, n. 13, p. 7552–7561, 7 jul. 2015.

HARWOOD, V. J.; LEVINE, A. D.; SCOTT, T. M.; CHIVUKULA, V.; LUKASIK, J.; FARRAH, S. R.; ROSE, J. B. Validity of the Indicator Organism Paradigm for Pathogen Reduction in Reclaimed Water and Public Health Protection. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 71, n. 6, p. 3163–3170, 1 jun. 2005.

HASHSHAM, S. A.; FERNANDEZ, A. S.; DOLLHOPF, S. L.; DAZZO, F. B.; HICKEY, R. F.; TIEDJE, J. M.; CRIDDLE, C. S. Parallel Processing of Substrate Correlates with Greater Functional Stability in Methanogenic Bioreactor Communities Perturbed by Glucose. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 66, n. 9, p. 4050–4057, 1 set. 2000.

HESPANHOL, I. Potencial de Reúso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75–95, 2002.

KASTBJERG, V. G.; GRAM, L. Industrial Disinfectants Do Not Select for Resistance in *Listeria Monocytogenes* Following Long Term Exposure. **International Journal of Food Microbiology**, v. 160, n. 1, p. 11–15, nov. 2012.

KNIE, J. L. W.; LOPES, E. W. B. **Testes ecotoxicológicos: métodos, técnicas e aplicações**. Florianópolis: FATMA / GTZ, 2004.

LAUBUSCH, E. J. Chlorination and other disinfection processes. In: AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (Ed.). **Water Quality and Treatment: A Handbook of Public Water Supplies**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1971. p. 158–224.

LECHEVALLIER, M. W. Coliform Regrowth in Drinking Water: A Review. **Journal - American Water Works Association**, v. 82, n. 11, p. 74–86, 1 nov. 1990.

LECHEVALLIER, M. W.; MCFETERS, G. A. Enumerating Injured Coliforms in Drinking Water. **Journal - American Water Works Association**, v. 77, n. 6, p. 81–87, 1 jun. 1985.

LETTINGA, G.; VELSEN, A. F. M. van; HOBMA, S. W.; ZEEUW, W. de; KLAPWIJK, A. Use of the Up flow Sludge Blanket (USB) Reactor Concept for Biological Wastewater

Treatment, Especially for Anaerobic Treatment. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 22, n. 4, p. 699–734, 1980.

LIN, C.-Y.; WU, C.-C.; HUNG, C.-H. Temperature effects on fermentative hydrogen production from xylose using mixed anaerobic cultures. **International Journal of Hydrogen Energy**, IWHE 2006. v. 33, n. 1, p. 43–50, 1 jan. 2008.

LOZUPONE, C. A.; KNIGHT, R. Global Patterns in Bacterial Diversity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 27, p. 11436–11440, 3 jul. 2007.

LUCK, M., M. LANDIS, F. GASSERT. **Aqueduct Water Stress Projections: Decadal Projections of Water Supply and Demand Using CMIP5 GCMs**. Technical Note. Washington, D.C.: World Resources Institute, 2015. Disponível em: <wri.org/publication/aqueduct-water-stress-projections>Acesso em: 26 Jun. 2018.

MALIK, O. **Primary vs. Secondary: types of wastewater treatment**. 2014. Disponível em: <http://archive.epi.yale.edu/case-study/primaryvs-secondary-types-wastewater-treatment> [Acesso em 26.06.2018].

MARIAKAKIS, I.; BISCHOFF, P.; KRAMPE, J.; MEYER, C.; STEINMETZ, H. Effect of Organic Loading Rate and Solids Retention Time on Microbial Population during Bio-Hydrogen Production by Dark Fermentation in Large Lab-Scale. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 36, n. 17, p. 10690–10700, ago. 2011.

MARINHO, C. A. M. **Resistência a antibióticos em *Enterococcus* spp. e *Escherichia coli* de equinodermes: um problema ambiental e de saúde pública**. 2013. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2013.

MCCANN, K. S. The Diversity–Stability Debate. **Nature**, v. 405, n. 6783, p. 228–233, maio 2000.

MCLELLAN, S. L.; HUSE, S. M.; MUELLER-SPITZ, S. R.; ANDREISHCHEVA, E. N.; SOGIN, M. L. Diversity and Population Structure of Sewage-Derived Microorganisms in Wastewater Treatment Plant Influent. **Environmental Microbiology**, v. 12, n. 2, p. 378–392, fev. 2010.

MIERZWA, J. C. Processos de Separação por Membranas para Tratamento de Água e Efluentes. In: PÁDUA, V. L. (Ed.). **Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 335–380.

MOLINOS-SENANTE, M.; HERNANDEZ-SANCHO, F.; SALA-GARRIDO, R. Tariffs and Cost Recovery in Water Reuse. **Water Resources Management**, v. 27, n. 6, p. 1797–1808, 2013.

MONTE, H. M.; ALBUQUERQUE, A. **Reutilização de Águas Residuárias**. Série Guias Técnicos 14. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos e Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2010.

MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. Remoção de Nutrientes em Sistemas Naturais. In: MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. (Ed.). **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Fortaleza: ABES, 2009. p. 385–392.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2016.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. a. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações Químicas em Solos e Crescimento de Milho e Feijoeiro Após Aplicação de Lodo de Esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 385–392, abr. 2004.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Water reuse: potential for expanding the Nation's water supply through reuse of municipal wastewater**. Washington D.C: National Academy Press, 2012.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Tradução Salvador E. Giammusso. São Paulo: Pini, 1997.

NHAMBE, L. F. **Caracterização de Carbapenemases do tipo KPC em Enterobactérias de Origem Clínica**. 2014. Universidade de São Paulo. Faculdade de Ciências Farmacêutica, São Paulo, 2014.

OHNUMA, D. **Soluções sustentáveis em canteiros de obras com foco na redução de riscos e custos**. São Paulo: CTE - Centro de Tecnologia de Edificações, 2015.

OLIVEIRA, A. C. de; SILVA, R. S. da. Desafios do cuidar em saúde frente à resistência bacteriana: uma revisão. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v. 10, n. 1, 2008.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, 2017. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475/247552por.pdf> Acesso em 10.04.2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, 2018. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002615/261594por.pdf> Acesso em 25.06.2018.

PAGE, S.W. e GAUTIER, P. Use of antimicrobial agents in livestock. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*, v. 31, n. 1, p. 145–188, 2012. Disponível em: <http://doc.oie.int:8080/dyn/portal/index.seam?page=alo&aloId=31376>.2012.

PEPPER, I.; GERBA, C. P.; GENTRY, T.; MAIER, R. (ed.). **Environmental Microbiology**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2008.

RASO, J. **Update of the final report on wastewater reuse in the European Union. Project: Service contract for the support to the follow-up of the communication on water scarcity and droughts**. Barcelona: TYPSA Consulting Engineers and Architects, 2013. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/Final%20Report_Water%20Reuse_April%202013.pdf>Acesso em: 28 Jun. 2018.

REALMIX. **Importância do Controle de Qualidade do Concreto no Estado Fresco. Informativo técnico 2**. São Paulo 2006.

REASONER, D. **Pathogens in Drinking Water - Are There Any New Ones?** Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, 1991. .

REPETTE, Wellington Longuini . Concreto autoadensável. In: Geraldo Cechella Isaia. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1ed.São Paulo: IBRACON, 2011, v. 2, p. 1769-1806.

REYBROUCK, G. The Testing of Disinfectants. **International Biodeterioration & Biodegradation**, n. 41, p. 269–272, 1998.

REZENDE, A. T. de. **Reúso urbano de água para fins não potáveis no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.

RIBEIRO, J. M.; CANUTO, K. M.; VESCHI, J. L. A. **Compostos Clorados: Aspectos Gerais e sua Utilização como Agente Sanitizante na Agricultura, Micropropagação e Pecuária**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2008.

RODRIGUES, P. P. F. **Parametros de Dosagem de Concreto**. ET-67. São Paulo: ABCP, 1998.

ROSSIN, A. C. Desinfecção. In: **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água**. Tratamento de Água. São Paulo: CETESB / ASCETESB, 1987. 2.

SANAPAREDDY, N.; HAMP, T. J.; GONZALEZ, L. C.; HILGER, H. A.; FODOR, A. A.; CLINTON, S. M. Molecular Diversity of a North Carolina Wastewater Treatment Plant as Revealed by Pyrosequencing. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 75, n. 6, p. 1688–1696, 15 mar. 2009.

SANZ, J. L.; KÖCHLING, T. Molecular biology techniques used in wastewater treatment: An overview. **Process Biochemistry**, v. 42, n. 2, p. 119–133, 1 fev. 2007.

SCHAER, M. B. **A percepção de agricultores familiares e formuladores de políticas- o reúso da água no semiárido baiano**. Tese (Doutorado em Administração). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

SEMIONATO, S.; CUNHA, A. C. da; CARDOSO, M. C. M. C.; GONÇALVES, R. F.; CASSINI, S. T. A. Isolamento e caracterização de bactérias lipolíticas em sistema de pré-tratamento de esgoto doméstico. In: Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande. **Anais... In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**. Campo Grande: ABES, 2005.

SILVA, D. A.; BETIOLI, A. M.; GLEIZE, P. J. P.; ROMAN, H. R.; GÓMEZ, L. A.; RIBEIRO, J. L. D. Degradation of recycled PET fibers in Portland cement-based materials. **Cement and Concrete Research**, v. 35, n. 9, p. 1741–1746, 1 set. 2005.

SILVA, F. J. A. da; FERREIRA, A. U. de C.; FREITAS, V. C. A. de. Comparação entre amostras brutas e filtradas para avaliação do conteúdo orgânico de efluentes de lagoas de estabilização. **Revista Tecnologia**, v. 21, n. 1, 2000. Disponível em: <<http://periodicos.unifor.br/tec/article/view/853>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

SILVA, J. L. M. da. **Utilização de Esgoto Tratado em Sistemas de Lagoas de Estabilização com Água de Amassamento e Cura de Concreto**. 2008. Universidade Federal do Ceará. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza, 2008.

SILVA, M. R. **Material de Construção**. São Paulo: Editora Pini, 1991.

SITTIJUNDA, S.; REUNGSANG, A. Biohydrogen production from waste glycerol and sludge by anaerobic mixed cultures. **International Journal of Hydrogen Energy**, ICCE-2011. v. 37, n. 18, p. 13789–13796, 1 set. 2012.

SOGIN, M. L.; MORRISON, H. G.; HUBER, J. A.; WELCH, D. M.; HUSE, S. M.; NEAL, P. R.; ARRIETA, J. M.; HERNDL, G. J. Microbial Diversity in the Deep Sea and the Underexplored “Rare Biosphere”. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 32, p. 12115–12120, 8 ago. 2006.

THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Water Reuse: Potential for Expanding the Nation’s Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater**. Washington, D.C: The National Academy of Sciences, 2012.

TOZE, S.; SLY, L. I.; MACRAE, I. C.; FUERST, J. A. Inhibition of Growth Of Legionella Species by Heterotrophic Plate Count Bacteria Isolated from Chlorinated Drinking Water. **Current Microbiology**, v. 21, n. 2, p. 139–143, ago. 1990.

TURNBAUGH, P. J.; HAMADY, M.; YATSUNENKO, T.; CANTAREL, B. L.; DUNCAN, A.; LEY, R. E.; SOGIN, M. L.; JONES, W. J.; ROE, B. A.; AFFOURTIT, J. P.; EGHOLM, M.; HENRISSAT, B.; HEATH, A. C.; KNIGHT, R.; GORDON, J. I. A Core Gut Microbiome in Obese and Lean Twins. **Nature**, v. 457, n. 7228, p. 480–484, jan. 2009.

TUTIKIAN, B. F. **Método para Dosagem de Concretos Auto-Adensáveis**. 2004. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

UNITED NATIONS. **Wastewater: the untapped resource**. Geneva: The United Nations World Water Development Report, 2017.

VAN BREMEM, J. **Water Quality - International Course in Sanitary Engineering**. Delft: IHE - International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering, 1984.

VAN HAANDEL, A.; KATO, M. T.; CAVALCANTI, P. F. F.; FLORENCIO, L. Anaerobic Reactor Design Concepts for the Treatment of Domestic Wastewater. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 5, n. 1, p. 21–38, fev. 2006.

VANDEWALLE, J. L.; GOETZ, G. W.; HUSE, S. M.; MORRISON, H. G.; SOGIN, M. L.; HOFFMANN, R. G.; YAN, K.; MCLELLAN, S. L. Acinetobacter, Aeromonas and Trichococcus Populations Dominate the Microbial Community within Urban Sewer Infrastructure. **Environmental Microbiology**, v. 14, n. 9, p. 2538–2552, 1 set. 2012.

VASCONCELLOS, F. C. da S.; IGANCI, J. R. V.; RIBEIRO, G. A. Qualidade microbiológica da água do rio São Lourenço, São Lourenço do Sul, Rio Grande do Sul. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 73, n. 2, p. 177–181, 2006.

VASCONCELOS, E. A. F. de. **Estudos ecológicos de comunidades microbianas tratando glicerol em condições anaeróbias pela aplicação de biologia molecular**. 2017. Universidade Federal do Ceará. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Fortaleza, 2017.

VAZOLLER, R. F.; MANFIO, G. P.; CANHOS, V. P. Domínio Archaea. In: CANHOS, V. P.; VAZOLLER, R. F. (Ed.). **Microrganismos e Vírus**. Biodiversidade do Estado de São

Paulo, Brasil - Síntese do conhecimento ao final do Século XX. São Paulo: Editora da FAPESP, 1999. 1p. 279.

VOULVOULIS, N. Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. **Current Opinion in Environmental Science & Health, Wastewater and reuse**. v. 2, p. 32–45, 1 abr. 2018.

WALKER, B.; HOLLING, C. S.; CARPENTER, S. R.; KINZIG, A. P. Resilience, Adaptability and Transformability in Social-Ecological Systems. **Ecology and Society**, v. 9, n. 2, 2004.

WALKER, C.H.; HOPKINS, S.P.; SIBLY, R.M.; PEAKALL, D.B. **Principles of Ecotoxicology**. London: Taylor & Francis, 1996.

WANG, X.; HU, M.; XIA, Y.; WEN, X.; DING, K. Pyrosequencing Analysis of Bacterial Diversity in 14 Wastewater Treatment Systems in China. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, n. 19, p. 7042–7047, 1 out. 2012.

WANG, Z. H.; YANG, J. Q.; ZHANG, D. J.; ZHOU, J.; ZHANG, C. D.; SU, X. R.; LI, T. W. Composition and Structure of Microbial Communities Associated with Different Domestic Sewage Outfalls. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 3, p. 7542–7552, 2014.

WILLIAMS, P. L.; JAMES, R. C.; ROBERTS, S. M. (ed.). **Principles of toxicology: environmental and industrial applications**. 2nd ed. New York: Wiley, 2000.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Reuse of Effluents: Methods os Wastewater Treatment and Health Safeguards: Report of a WHO Meeting of Experts**: Technical Report Series. Geneva: World Health Organization, 1973. .Disponívelem: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41032/WHO_TRS_517.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acessoem: 13 jun. 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Safe piped water: managing microbial water quality in piped distributed systems**. London: IWA Publishing, 2004.

XIA, S.; DUAN, L.; SONG, Y.; LI, J.; PICENO, Y. M.; ANDERSEN, G. L.; ALVAREZ-COHEN, L.; MORENO-ANDRADE, I.; HUANG, C.-L.; HERMANOWICZ, S. W. Bacterial Community Structure in Geographically Distributed Biological Wastewater Treatment Reactors. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 19, p. 7391–7396, out. 2010.

YE, G.; WANG, S.; JIANG, L.; XIAO, X.; WANG, F.; NOAKES, J.; ZHANG, C. Distribution and Diversity of Bacteria and Archaea in Marine Sediments Affected by Gas Hydrates at Mississippi Canyon in the Gulf of Mexico. **Geomicrobiology Journal**, v. 26, n. 6, p. 370–381, 24 ago. 2009.

ZAGATTO, P. A.; LORENZETTI, M. L.; LAMPARELLI, M. C.; SALVADOR, M. E. P.; MENEGON JR., N; BERTOLETTI, E. Aperfeiçoamento de um índice de qualidade de águas. **Acta Limnológica Brasiliensia**. 11 (2), 1999, p. 111-126.

ZAHNER FILHO, E. **Água de Reúso: Estudo para Fornecimento como Água de Amassamento**. 2014. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.