

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

RAFAELLA COLOMBO COLLAZZI

**PATOLOGIAS CONSTRUTIVAS EM UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO**

Causa, recuperação e prevenção em reatores UASB's

FLORIANÓPOLIS, 2019

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

RAFAELLA COLOMBO COLLAZZI

**PATOLOGIAS CONSTRUTIVAS EM UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO**

Causa, recuperação e prevenção em reatores UASB's

Trabalho de conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de engenheira civil.

Orientadora: Prof.^a Ms. Marcia Maria Machado Steil

Coorientador: Prof. Ms. Reginaldo Campolino Jaques

FLORIANÓPOLIS, 2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Collazzi, Rafaella
PATOLOGIAS CONSTRUTIVAS EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO : causa, recuperação e prevenção em reatores UASB's / Rafaella Collazzi ; orientação de Marcia Steil; coorientação de Reginaldo Jaques. - Florianópolis, SC, 2019.

114 p.
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil.
Inclui Referências.

1. Patologia construtiva. 2. Reator UASB. 3. Corrosão do concreto armado. 4. Estação de tratamento de esgoto. I. Steil, Marcia. II. Jaques, Reginaldo. III. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Construção Civil. IV. Título.

**PATOLOGIAS CONSTRUTIVAS EM UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO**

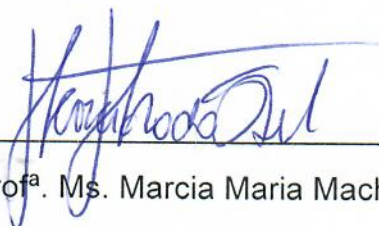
Causa, recuperação e prevenção em reatores UASBs

RAFAELLA COLOMBO COLLAZZI

Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheira Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 02 de Julho de 2019

Banca examinadora:



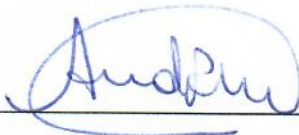
Prof^a. Ms. Marcia Maria Machado Steil



Prof. Ms. Reginaldo Campolino Jaques



Prof. Dr. Jose Antonio Bourscheid



Eng. Anderson Rodrigo Miranda

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser incrível como só ele é. Obrigada pelo aprendizado, por me permitir cursar esse curso que tanto estimei e por transformar todos os momentos difíceis em momentos surpreendentemente agradáveis. A Ele, toda honra e toda glória.

Aos meus pais, pelo amor, apoio e incentivo nos meus sonhos. O meu pai pela amizade e seu exemplo de amor, cuidado e caráter. A minha mãe pela sua generosidade e exemplo de determinação, e força que tem me ajudado a enfrentar os desafios. A minha eterna gratidão a vocês.

À minha irmã pelos momentos de risadas quando eu não conseguia mais estudar, mas principalmente pelo seu exemplo de coragem, bravura e superação.

Ao meu noivo por todo apoio, incentivo, parceria e entusiasmo nos assuntos da vida e da engenharia, mas principalmente pelo exemplo de caráter e integridade.

À Professora Márcia e Professor Reginaldo pela orientação, sinceridade, incentivo, exemplo de profissionalismo e, sobretudo, pela credibilidade dada ao meu trabalho.

À todos os colaboradores que me auxiliaram em diferentes etapas da pesquisa, contribuindo de forma decisiva no desenvolvimento deste trabalho: Anderson Miranda, Amilton de Chagas, Julia Pascal, Vitor Zubatch e a equipe técnica da Companhia Catarinense de Saneamento (CASAN).

RESUMO

A agressividade do meio onde as estruturas de concreto armado estão inseridas pode reduzir a vida útil das mesmas significativamente. As estações de tratamento de esgoto sanitário, que utilizam o reator anaeróbio de manta de lodo ascendente (UASB) como tratamento primário, apresentam elevada classe de agressividade. A digestão anaeróbia do efluente resulta em agentes patológicos bioquímicos, como ácidos, sulfato de cálcio di-hidratado, etringita, gás sulfídrico, gases como metano e gás carbônico, entre outros. Estes reagem quimicamente com os compostos do cimento e formam produtos expansivos, provocando a fissuração e desagregação do concreto, levando à uma precoce deterioração dessas estruturas. Foram vistoriadas 4 estações de tratamento de esgoto em Florianópolis, onde foi possível confirmar as patologias sugeridas. A partir da escolha da estação que apresentou maior degradação em relação ao ano de construção, foi definido o estudo de caso da ETE Canasvieiras. Foi então analisado e comparado a situação atual da estrutura do reator UASB 3 com os projetos e as especificações técnicas do projeto de estruturas de concreto armado, juntamente com o ensaio de esclerometria para medir a resistência superficial do concreto. Os resultados obtidos mostram um mau controle tecnológico e executivo dessa estrutura, como também a consequência da falta de manutenção e falta de especificações de projeto. Por fim, foram propostas ações preventivas e corretivas para tal problema, com a intervenções nas estruturas dos reatores anaeróbios a partir da substituição de materiais; intervenção preventiva no uso do concreto armado e sugestões para alterações de futuros projetos.

Palavras-Chave: Patologia construtiva, Reator UASB, Corrosão do concreto armado, Estação de tratamento de esgoto.

ABSTRACT

The aggressiveness of the environment where the reinforced concrete structures are inserted can reduce their useful life significantly. Sanitary sewage treatment plants using the ascending sludge blanket anaerobic reactor (UASB) as a primary treatment present a high class of aggressiveness. Anaerobic digestion of the effluent results in pathological biochemical agents such as acids, calcium sulfate dihydrate, ethngite, sulphide gas, gas such as methane and carbon dioxide, among others. They react chemically with cement compounds and form expansive products, causing cracking and disintegration of the concrete, leading to an early deterioration of these structures. Four sewage treatment plants in Florianópolis were inspected, where the suggested pathologies could be confirmed. The case study of ETE Canasvieiras was based on the choice of the station with the highest degradation in relation to the year of construction. It was then analyzed and compared the current situation of the reactor structure UASB 3 with the projects and technical specifications of the design of reinforced concrete structures, Joint with the sclerometry test to measure the surface resistance of the concrete. The results obtained show a poor technological and executive control of this structure, as well as the consequence of lack of maintenance and lack of design specifications. Finally, preventive and corrective actions were proposed for this problem, with interventions in the structures of anaerobic reactors from the replacement of materials; preventive intervention in the use of reinforced concrete and suggestions for changes in future projects.

Key words: Constructive pathology, UASB Reactor, Armed concrete corrosion, Sewer treatment station.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do sistema de esgotamento sanitário	19
Figura 2 - Esquema de ETE com reator UASB seguido de lodos ativados	22
Figura 3 - Diferentes tipos de tratamento secundário.....	23
Figura 4 - Relação entre a eficiência da remoção de material orgânico e o tempo de permanência para diferentes tipos de tratamento	29
Figura 5 - Diagrama esquemático de digestão anaeróbia	32
Figura 6 - Desenho esquemático de um reator UASB	35
Figura 7 - Diagrama de sistema de gases em um reator UASB.....	36
Figura 8 - Corte transversal de um reator UASB.....	38
Figura 9 - Fases de hidratação de grãos de cimentos expressas pela variação de liberação de calor em função do tempo	46
Figura 10 - Exemplo da desagregação do concreto devido à movimentação das formas	50
Figura 11 - Etapas da construção relacionado à durabilidade de uma estrutura em concreto armado	52
Figura 12 - Representação da zona de transição e da matriz de cimento no concreto	54
Figura 13 - Fenômeno de carbonatação exposto em viga	57
Figura 14 - Tipos de corrosão e fatores que as provocam	58
Figura 15 - Mecanismo de deterioração do concreto por ataque de ácido sulfúrico biogênico.....	61
Figura 16 - Área de ensaio e pontos de impacto.....	64
Figura 17 - Bigorna de aço.....	64
Figura 18 - ETE Saco Grande – Degradação do concreto das canaletas	69

Figura 19 - ETE Lagoa da Conceição – Oxidação da canalização do queimador de gás	70
Figura 20 - ETE Saco Grande – Degradação do concreto das canaletas	70
Figura 21 - Distribuição do esgoto bruto no interior do UASB - ETE Barra da Lagoa	72
Figura 22 - Distribuição do esgoto bruto no interior do UASB 1 e 2 - ETE Canasvieiras.....	72
Figura 23 - ETE da Barra da Lagoa - Degradação do concreto das canaletas e fissura.....	73
Figura 24 - ETE Barra da Lagoa – Oxidação de armaduras	73
Figura 25 – Planta baixa do reator UASB	76
Figura 26 - Corte BB do reator UASB	76
Figura 27 - Exposição da armadura devido à falta de cobrimento	77
Figura 28 - Falha de concretagem	78
Figura 29 - Fissura na junta de concretagem.....	79
Figura 30 - Eflorescências na parede externa no reator UASB.....	80
Figura 31 - Eflorescências na parede externa da caixa de distribuição de vazão 1	81
Figura 32 - Flange de aço	82
Figura 33 - Desagregação do concreto na laje de cobertura	83
Figura 34 - Esclerômetro de reflexão	84
Figura 35 - Ilustração da sequência de execução do ensaio de esclerometria	84
Figura 36 - Marcação dos pontos na tampa superior do reator 3.....	85
Figura 37 - Realização do ensaio esclerométrico na região 1.....	85
Figura 38 - Leitura dos valores do esclerômetro, na região 2 do reator	86
Figura 39 - Polimento e marcação dos pontos	87

Figura 40 - Ábaco de correlação	91
Figura 41 - Desagregação do concreto na parede interna no reator UASB e oxidação da armadura.....	95
Figura 42 – Borda da tampa de inspeção vedada com material polimérico	99
Figura 43 - Esquema de câmara de dessorção.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores comuns para DBO do efluente e de remoção em sistemas	28
Tabela 2 - Classes de agressividade ambiental	39
Tabela 3 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto	41
Tabela 4 - Requisitos para o concreto, em condições especiais de exposição	42
Tabela 5 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção de armaduras, em função da classe de agressividade ambiental	47
Tabela 6 - Revestimento de concreto (características comparativas)	51
Tabela 7 - Fatores determinantes da corrosão em concretos	59
Tabela 8 - Características químicas de esgoto doméstico	60
Tabela 9 - Aspectos observados na degradação do concreto e aço nas ETE's	67
Tabela 10 - Leitura inicial do esclerômetro na região 2	86
Tabela 11 - Leitura inicial do esclerômetro na região 3	88
Tabela 12 - Leitura inicial do esclerômetro	89
Tabela 13 - Resistência dos pontos obtidos na região 2	91
Tabela 14 - Resistência dos pontos obtidos na região 3	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

DBO – Demanda Biológica de Oxigênio

NBR – Norma Brasileira

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PP – Polipropileno

PPR – Polipropileno Copolímero Random

PRFV – Polímero Reforçado com Fibra de Vidro

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

PVC – Policloreto de Vinila

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reator Anaeróbio de Manta de Lodo ascendente)

UFTPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

C_2H_6S	– Dimetil Sulfeto
CH_4	– Metano
CO_2	– Dióxido de carbono
H_2	– Hidrogênio molecular
H_2O	– Água
H_2S	– Ácido sulfídrico
N_2	– Nitrogênio
NH_3	– Gás amoníaco
O_2	– Oxigênio
$S_2O_3^{-2}; S_4O_6^{-2}; SO_4^{-2}$	– Compostos de Enxofre
SO_4^{-2}	– Sulfato
SH	– Metanotiol
H_2SO_4	– Ácido sulfúrico

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	1
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Definição do problema	15
1.2 Justificativa.....	15
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo geral	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 PROCESSOS DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) 18	
2.1.1 Níveis de tratamento	19
2.1.1.1 Tratamento preliminar.....	20
2.1.1.2 Tratamento primário.....	21
2.1.1.3 Tratamento secundário	22
2.1.1.3.1 Lagoas de estabilização.....	23
2.1.1.3.2 Lodos ativados	23
2.1.1.3.3 Sistemas aeróbios com biofilmes.....	24
2.1.1.3.4 Sistemas anaeróbios.....	24
2.1.1.3.5 Tratamento do lodo	24
2.1.1.4 Tratamento terciário.....	25
2.2 EVOLUÇÃO DOS TIPOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO BRASIL 26	
2.3 REATOR DE MANTA DE LODO ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE (UASB).....	29
2.3.1 Processo de digestão anaeróbia	30
2.3.1.1 Fases da digestão anaeróbia.....	31
2.3.1.2 Resultados da digestão anaeróbia.....	33
2.3.2 Princípio de funcionamento do reator UASB	34
2.3.2.1 Queimador de gás	35

2.4	USO DO CONCRETO ARMADO EM ETE	36
2.4.1	Projeto.....	37
2.4.1.1	Grau de agressividade.....	38
2.4.2	Materiais.....	40
2.4.3	Controle tecnológico.....	42
2.4.4	Problemas, causas e cuidados a serem considerados durante a execução da obra.....	44
2.4.4.1	Reações expansivas - fissuração no concreto	44
2.4.4.1.1	Causas da fissuração do concreto	45
2.4.4.1.2	Limite de fissuração do concreto.....	47
2.4.4.1.3	Cuidados preventivos	48
2.4.4.2	Juntas de concretagem.....	49
2.4.4.2.1	Movimentação das formas	49
2.4.4.2.2	Impermeabilização	50
2.5	PATOLOGIAS NO CONCRETO ARMADO EM OBRAS DE SANEAMENTO	
	51	
2.5.1	Patologias do concreto armado	52
2.5.1.1	Constituição do concreto	53
2.5.1.1.1	Tipos de cimento a durabilidade ao meio agressivo	54
2.5.1.2	Tipos de patologias	55
2.5.1.2.1	Infiltração, manchas, bolor ou mofo e eflorescência	55
2.5.1.2.2	Segregação do concreto	56
2.5.1.2.3	Fissuras e trincas	56
2.5.1.2.4	Carbonatação.....	56
2.5.1.2.5	Corrosão da armadura	57
2.5.1.2.6	Corrosão do concreto.....	58
2.5.2	Características físico-químicas do esgoto	59
2.5.3	Ataque químico ao concreto	60
2.6	ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS	62
2.6.1	Ensaio de Esclerometria.....	63
2.6.1.1	Resultados do ensaio	65

3	METODOLOGIA.....	66
3.1	Coleta e interpretação dos dados	66
3.1.1	Coleta dos dados.....	67
3.2	Escolha do estudo de caso	74
3.2.1	Especificações técnicas do projeto estrutural e executivo – ETE CANASVIEIRAS.....	74
3.3	Vistoria externa da estrutura	76
3.3.1	Cobrimento	77
3.3.2	Falhas de concretagem	78
3.3.3	Junta de concretagem	79
3.3.4	Eflorescências	80
3.4	Vistoria interna da estrutura	81
3.5	Realização do ensaio	83
4	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DO ENSAIO.....	89
5	PROPOSTAS CORRETIVAS E PREVENTIVAS	94
5.1	Patologia diagnosticada em reatores UASB's da SANEPAR e métodos corretivos aplicados – análise comparatória.....	94
5.2	Intervenções a partir da substituição de materiais	95
5.3	Intervenções preventivas no uso do concreto armado	97
5.4	Alterações de projeto.....	98
5.4.1	Dessorção dos gases.....	100
5.4.2	Compartimentos de decantação e câmara de gás	101
	CONCLUSÃO.....	102
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a durabilidade do concreto armado tem crescido nos últimos anos, seja pelo apelo econômico (redução de custos com a manutenção), social (pela falta de eficiência em obras públicas como é o caso de pontes, obras de saneamento, energia), ou ambiental (uma vez que materiais mais duráveis implicam no menor consumo de recursos naturais). O concreto armado, apesar da versatilidade para a execução de estruturas, pode apresentar desempenho inadequado diante dos fatores ambientais a que está exposto. Os problemas patológicos, salvo raras exceções, apresentam manifestações externas características, a partir da qual se pode deduzir qual a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos. Assim, pode-se estimar suas prováveis consequências. As patologias construtivas indicam que pode ter havido falhas no projeto ou falhas de execução das etapas de construção.

De acordo com Filho et al (2014) a exposição do concreto à ação de esgoto sanitário, em uma estação de tratamento de esgoto (ETE) de digestão anaeróbica, configura um ambiente de alta agressividade, tendo em vista que o microclima formado pela digestão dos microrganismos presentes no efluente produzem compostos contendo considerável concentração de ácido sulfúrico biogênico (H_2SO_4), principal responsável pela degradação da estrutura e outras substâncias bioquímicas. Ademais, os problemas decorrentes da má execução em obras hidráulicas, a pouca manutenção e somado com a falta de uma normatização específica faz com que as manifestações patológicas em estruturas utilizadas para o tratamento de esgoto sanitários e tornem um problema cada vez maior.

O tratamento de esgotos tem por finalidade garantir a requalificação das águas para que retornem aos cursos d'água ou sejam reutilizadas, livres, ou com percentual muito reduzido, de substâncias contaminantes que possam comprometer o meio ambiente e a saúde pública. Segundo Cruz (2016), o tipo de tratamento utilizado depende das características do efluente e dos requisitos exigidos pela legislação, assim como fatores econômicos e disponibilidade de

área. De uma forma geral, os tipos de tratamento biológico podem ser divididos em aeróbios e anaeróbios. O tratamento anaeróbio tem como característica a degradação da matéria orgânica em meio anóxico, realizado por um grupo de microrganismo.

Um sistema de tratamento anaeróbio muito utilizado no início dos anos 90, para a digestão primária do esgoto sanitário, é o reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ou em português: Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente. Desenvolvido na Holanda pelo professor Gatz Lettinga e sua equipe, o reator UASB possui segundo Jordão; Pessoa (2014), operação simples e econômica, sendo estudado e aprimorado principalmente em países em desenvolvimento, dentre eles, o Brasil.

Apesar do tema patologia em estações de tratamento de esgoto já ser conhecido, é indispensável o conhecimento e identificação os detalhes do processo de degradação para se sugerir meios de intervir e frear esse processo, seja através da diferente concepção de novos projetos ou através de um plano de manutenção.

1.1 Definição do problema

Os problemas operacionais decorrentes das patologias manifestas nos reatores UASB's podem ser de pequena significância, porém se não forem monitoradas e tomadas medidas de controle e mitigação dos danos, esses, podem causar uma interrupção da unidade, gerando transtornos não só para a concessionária que opera as estações de tratamento, mas principalmente para a população local e o meio ambiente. Os altos custos de remediação e o ambiente desfavorável em que essas estruturas se encontram (maresia, esgoto, gases, etc.) exigem uma maior atenção quando se fala dos processos construtivos e a manutenção dessas unidades.

Tendo em vista a importância dos reatores anaeróbios de manta de lodo de fluxo ascendente nas estações de tratamento de esgoto, para a garantia da saúde pública através do tratamento de águas usadas domesticamente, a preservação do meio ambiente, e, considerando os problemas patológicos nas estruturas de concreto armado das Estações de Tratamento de Esgotos, surge a urgência de voltar-se a essas estruturas a fim de se fazer uma análise da causa e dos motivos que tem provocado a avançada degradação a fim de freá-la, reparar os danos já ocasionados e fazer a mudança de futuros projetos, para que esses agentes patológicos venham a ser contidos.

1.2 Justificativa

As estações de tratamento de esgoto são estruturas essenciais nos aglomerados urbanos. Os elevados investimento principalmente de órgãos públicos, para esse tipo de obra é muito significativo para não ser utilizado com racionalidade. Se nenhuma necessidade de intervenção e manutenção nas estruturas já existentes, como também, as mudanças na concepção de futuros projetos, não forem apontadas, várias outras estações serão executadas com base no mesmo "projeto padrão" e as mesmas manifestações patológicas surgirão.

Devido à alta agressividade do esgoto sanitário nas estruturas de concreto armado, faz-se necessário a manutenção constante dessas. Assim, identificar as

causas das patologias é fundamental para fazer correções nas estruturas já existentes, como também permitir revisões e considerações de futuros projetos.

Na busca do tema ser abordado foram feitas visitas técnicas as estações de tratamento de esgotos da CASAN e verificou-se que há patologias consideráveis e passíveis de serem estudadas, visando a melhoria nas futuras execuções, bem como, maneiras de reparar as patologias já existentes.

São estes os fatores que caracterizam a importância desta pesquisa: compreender de forma mais específica os mecanismos de degradação de estruturas em concreto armado em ambientes de alta agressividade, como é o caso das estações de tratamento de esgoto, dar subsídio para possíveis recuperações e planos para a prática de novas estruturas a serem construídas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Identificar as patologias no concreto armado encontradas em estruturas utilizadas para o tratamento anaeróbio de esgoto doméstico, especificamente em reatores UASB's, nas Estações de Tratamento de Esgoto de Florianópolis, destacando as principais causas, possíveis recuperações e prevenção.

1.3.2 Objetivos específicos

- Pontuar os problemas patológicos nas estações de tratamento de esgoto da Barra da Lagoa, Lagoa da Conceição, Canasvieiras e João Paulo, as quais possuem como tratamento primário o sistema de reatores anaeróbios tipo UASB;
- Apresentar um estudo de caso da estação de tratamento de esgoto, dentre as avaliadas, que se encontra mais degradada, identificando as origens patológicas para os problemas encontrados na estrutura do reator;

- Avaliar as condições e dureza superficial do concreto da estação de tratamento em questão, através do ensaio não destrutivo de esclerometria;
- Propor soluções de recuperação da ETE do estudo de caso;
- Propor soluções preventivas e sugerir possíveis mudanças para a concepção de novos projetos de reatores anaeróbios tipo UASB.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste presente trabalho serão revisados aspectos importantes inerentes as patologias construtivas manifestas em estruturas hidráulicas - reatores de manta de lodo ascendente (UASB). Para isso, serão apresentados os processos gerais e os tipos de tratamento de esgoto em uma ETE, desde a chegada do efluente (através da rede coletora), até o seu devido tratamento dentro da estação de tratamento.

Em seguida será abordado um breve histórico dos tipos de tratamento de esgoto no Brasil, junto com sua evolução durante os anos. O tópico seguinte será voltado especificamente para o reator de manta de lodo, envolvendo o princípio de funcionamento, os processos da digestão anaeróbia até o resultado final do processo digestivo, com destaque para os componentes bioquímicos formados no final da digestão. O item consecutivo envolve o uso do concreto armado para a obra apresentada, especificando detalhes de projetos, o uso de materiais e a consequência da má escolha dos mesmos, observações importantes de normas técnicas e a consequência da falta de normatização específica para obras de estruturas hidráulicas.

Serão apresentadas também as patologias no concreto armado com o uso destinado a obras hidráulicas. As consequências da má execução do projeto, os tipos de ataques mais comuns para obras de elevada agressividade e as consequências da falta de manutenção.

Por fim, será abordado uma breve descrição dos tipos de ensaio destrutivos e não destrutivos.

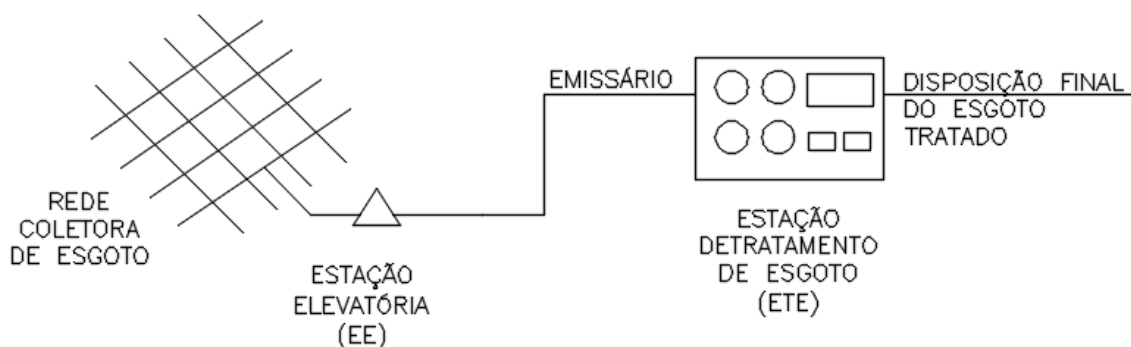
2.1 PROCESSOS DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE)

De acordo com a NBR 12209/1992 uma estação de tratamento de esgoto sanitário é constituída de um conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios e sistemas de utilidades que tem como objetivo reduzir

as cargas poluidoras do efluente e dar uma condição suficiente para atender aos padrões do corpo receptor.

O sistema de tratamento de esgoto tem início na coleta do esgoto, feito através da rede coletora que possui seu funcionamento dirigido por gravidade, a qual leva esgoto para a estação elevatória da bacia em que se encontra. As estações elevatórias de cada bacia, quando atingem seu nível de funcionamento, entram em trabalho e bombeiam o efluente para uma outra estação elevatória, com maior capacidade de carga, e então, esta última, destina o efluente através de um emissário de recalque até a estação de tratamento de esgoto (Figura 1).

Figura 1 - Esquema do sistema de esgotamento sanitário



Fonte: Autoria própria

2.1.1 Níveis de tratamento

O tratamento de esgoto em uma ETE é definido em níveis, quanto maior for o nível, mais eficaz será o processo de remoção de contaminantes do efluente. De acordo com Sperling (2005) o tratamento é dividido em: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário. No tratamento preliminar são removidos sólidos grosseiros em suspensão e areia; no tratamento primário é feita a remoção dos sólidos em suspensão sedimentáveis e da demanda biológica de oxigênio (DBO) associada à matéria orgânica dos sólidos em suspensão. Sperling (2005) ainda afirma que no tratamento secundário é removida a DBO em suspensão de matéria orgânica presente no esgoto bruto, DBO particulada finamente e DBO solúvel. Para o nível de tratamento terciário, que ainda é pouco comum no Brasil, é feita a remoção de nutrientes, organismos patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados entre outros.

As operações e processos do tratamento são também divididos em processos aeróbios e processos anaeróbios. De acordo com Jordão (2005), no tratamento aeróbio dá-se destaque para os processos de lodos ativados, devido à sua ampla variação, e a utilização de filtros biológicos, que são extremamente simples em sua concepção e operação. Para o tratamento de processos anaeróbios, as lagoas de estabilização eram muito utilizadas; nelas, as bactérias estabilizam a demanda biológica de oxigênio (DBO) do líquido e as partículas sedimentáveis se depositam no fundo da lagoa. Porém, devido ao crescimento das cidades e a necessidade de grande área requerida há operação de lagoas, as mesmas foram substituídas por reatores anaeróbios de fluxo ascendente (reatores UASB).

2.1.1.1 Tratamento preliminar

O tratamento preliminar está destinado a fazer a remoção de sólidos grosseiros e da areia presente no esgoto sanitário que chega até a estação e tratamento. Para isso são utilizados mecanismos de grandeza física como a grade que tem a função de reter sólidos e o desarenador que retém a areia sedimentável que se encontra no efluente. De acordo com Sperling (2005) na maioria dos casos é também incluso no tratamento preliminar uma unidade para medição de vazão.

Segundo Jordão (2005) os principais objetivos na remoção dos sólidos grosseiros são: a proteção das estruturas que recebem o efluente, a proteção dos dispositivos de transporte de esgoto (bombas e as tubulações), evitar problemas nas unidades que sequenciam o tratamento e a remoção parcial da carga poluidora. Sendo assim a redução dos sólidos fica sintetizada e se torna uma fase fundamental para o condicionamento do esgoto para posterior tratamento.

As finalidades básicas para a remoção de areia, de acordo com Sperling (2005) são: evitar a abrasão nos equipamentos e tubulações, reduzir a possibilidade de obstruções, facilitar o transporte do líquido principalmente a transferência de lodo em suas diversas fases. As caixas de areia podem ser com aeração ou sem aeração, essa última mais comum e são limpas com caminhão limpa-fossa ou manualmente.

2.1.1.2 Tratamento primário

Conforme Sperling (2005) o tratamento primário possui a função de remover uma pequena fração da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), como também remover os sólidos flutuantes e os sólidos em suspensão sedimentáveis. Após o efluente passar pelo tratamento preliminar, ainda se encontram sólidos em suspensão não grosseiros, os quais podem ser removidos em unidades de sedimentação.

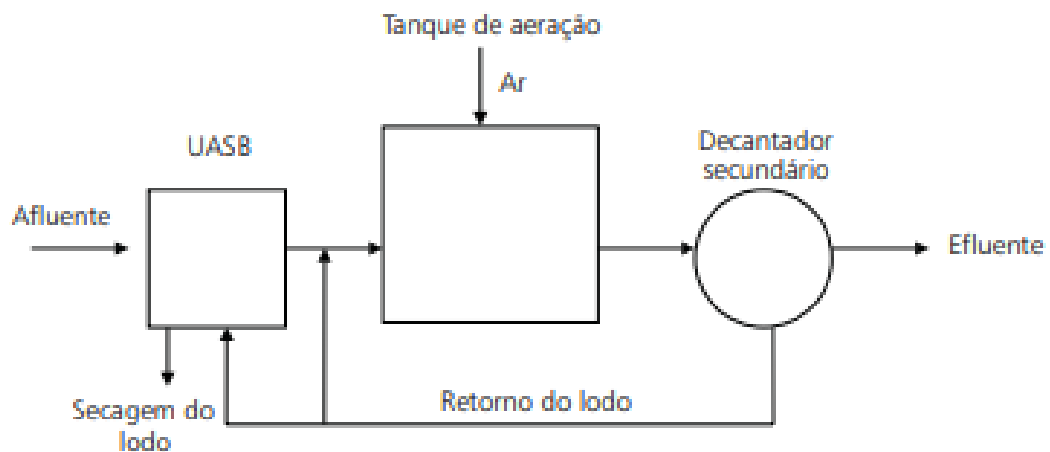
Decantadores primários são unidades do tratamento primário, que recebem os esgotos do tratamento preliminar, isentos dos sólidos removidos (Jordão, 2005, p. 247).

O efluente circula de forma lenta dentro do decantador, isso possibilita com que as partículas sedimentáveis, de maior densidade que o líquido, se adiram umas às outras e decantem, depositando-se no fundo. De acordo com Sperling (2005) nessa etapa do processo pode também ser acrescentados agentes coagulantes, como sulfato de alumínio e cloreto férrico, o que aumenta a eficiência do tratamento primário. A massa que se deposita no fundo dos decantadores é denominada de lodo primário bruto e é retirada por meio de tubulações ou através de raspadores mecânicos. Os materiais flutuantes de menor densidade, como espuma e escuma (proveniente de graxas e óleos) se depositam na superfície, onde são removidos do tanque para posterior tratamento.

A utilização de reatores anaeróbios de fluxo ascendente (reatores UASB) vem sendo cada vez mais empregada para tratamentos primários, sendo sequenciado de outra (s) unidade (s) de tratamento, dependendo das exigências da legislação ambiental do corpo receptor que receberá o efluente final. De acordo com Jordão (2005) com a utilização dos decantadores primários a eficiência na redução da DBO fica em torno de 25% a 35% e com a utilização dos reatores anaeróbios esse valor sobe para 45% a 85% (essa variação depende do tempo que o efluente fica no UASB). Isso tem possibilitado uma redução significativa no volume das unidades no tratamento. Posteriormente será abordado com maior atenção esse sistema de tratamento.

Na Figura 2 é representado uma ETE que utiliza o reator UASB como tratamento primário, seguido de um pós tratamento com o tanque de aeração e posteriormente decantador secundário, até a disposição final do efluente.

Figura 2 - Esquema de ETE com reator UASB seguido de lodos ativados



Fonte: PROSAB (1999)

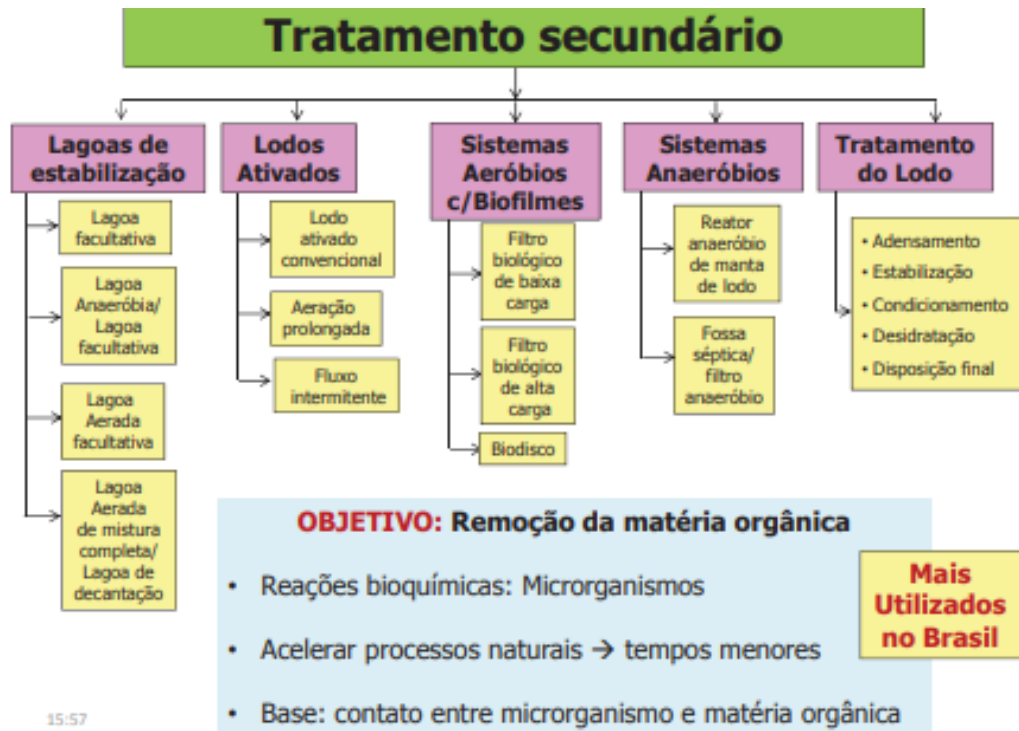
2.1.1.3 Tratamento secundário

O principal objetivo do tratamento secundário é reduzir e remover a matéria orgânica, através de agentes biológicos, presente no efluente que não podem ser removidas por processos físicos como a sedimentação. Este nível de tratamento pode ou não proceder o tratamento primário.

Vários processos de tratamento secundário são concebidos de forma a acelerar os mecanismos de degradação que ocorrem naturalmente nos corpos receptores (Sperling, 2005, p. 273). Esse processo se dá através de reações bioquímicas feitas por microrganismos como bactérias, fungos, protozoários, etc. De acordo com Jordão (2005), a matéria orgânica é convertida em gás carbônico, água e material celular. Quando em condições anaeróbias (sem a presença de oxigênio) há também a produção do gás metano.

Dentre a ampla variedade de tratamento secundário os mais comuns são representados na Figura 3:

Figura 3 - Diferentes tipos de tratamento secundário



Fonte: Nunes (2015)

2.1.1.3.1 Lagoas de estabilização

Lagoas de estabilização são sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou redução fotossintética das algas (Jordão, 2005, p. 702)

O que difere as lagoas de estabilização e suas variantes uma das outras é a forma de estabilização da matéria orgânica, elas podem ser classificadas como: lagoa facultativa, lagoa anaeróbia / lagoas facultativas, lagoa aerada facultativa, lagoa aerada de mistura completa / lagoa de decantação.

2.1.1.3.2 Lodos ativados

Sperling (2005) afirma que o sistema de lodos ativados possui uma elevada qualidade de tratamento na resultante do efluente final, alto consumo energético e complexidade de operação, por outro lado apresenta baixas exigências de área física, o que torna esse sistema muito utilizado mundialmente.

As variantes do sistema de lodos ativados dependem da idade do lodo, do tipo de fluxo e com o objetivo de tratamento e podem ser classificados como lodos ativados convencional, aeração prolongada e fluxo intermitente.

2.1.1.3.3 Sistemas aeróbios com biofilmes

Segundo Jordão (2005), o sistema aeróbio com biofilmes é composto por reatores nos quais a biomassa cresce aderida a um meio suporte, como pedras de baixa granulometria ou polímeros a fim de aumentar a área de contato entre o efluente e os biodigestores. As variantes dentro deste conceito são: filtro biológico de baixa carga, filtro biológico de alta carga, filtro aerado submerso e biodisco. Todos estes sistemas podem ser usados como pós-tratamento do efluente de reatores anaeróbios.

2.1.1.3.4 Sistemas anaeróbios

O tratamento anaeróbio consiste em unidades dimensionadas para o tratamento do efluente sem a presença de oxigênio, onde a biomassa (formada pela digestão da matéria orgânica) fica depositada do fundo da estrutura por um longo tempo.

De acordo com Jordão (2005), são considerados três fatores para a utilização desse sistema de tratamento: acumulação de massa no interior do reator, melhor contato entre a biomassa e o despejo da melhor atividade da mesma.

Reator de manta de lodo (UASB), filtro anaeróbio, e o reator anaeróbio de leito fluidizado (RALF) são exemplos desse sistema de tratamento.

2.1.1.3.5 Tratamento do lodo

A produção do lodo a ser gerado é função precípua do sistema de tratamento utilizado na fase líquida. Em princípio, todos os processos de tratamento geram lodo (Sperling, 2005, p. 357).

Assim como os diferentes processos do tratamento geram um efluente líquido distinto, o lodo produzido em cada etapa do tratamento é também diferente, sendo distinguidos por lodo primário, secundário ou biológico e lodo excedente. De acordo com Jordão (2005), o lodo digerido atinge teores de umidade de 96% e apenas 4% de teor de sólidos.

As etapas do tratamento conferido a esse tipo de resíduo seguem a sequência: adensamento, estabilização, condicionamento, desidratação e disposição final.

2.1.1.4 Tratamento terciário

Embora ainda muito pouco presente no Brasil, Sperling (2005) diz que o tratamento terciário possui como finalidade fazer a remoção de nutrientes, patógenos, metais pesados e sólidos inorgânicos dissolvidos do efluente final, antes do mesmo ser lançado no corpo hídrico receptor. Dependendo do processo adotado, a remoção de nutrientes e organismos patogênicos pode ser integrado junto ao tratamento secundário.

O objetivo da desinfecção não é exterminar completamente a presença de microrganismos, como se pratica na esterilização na medicina, mas a inativação seletiva de organismos patogênicos (Jordão, 2005, p. 855). Dessa forma, os métodos de desinfecção mais utilizados em países desenvolvidos podem ser naturais ou artificiais.

De acordo com Daniel (2001) conforme citado por Sperling (2005), os tipos de desinfecção natural são divididos em dois processos.

1. Processo de lagoa de maturação e polimento: devido à baixa profundidade da lagoa, a penetração da radiação solar ultravioleta e as condições ambientais desfavoráveis causam a morte dos vírus e bactérias.

2. Infiltração no solo: não necessita de produtos químicos, apenas as condições do solo em que é lançado, por si só provocam a morte dos microrganismos.

Daniel (2001) ainda ressalta que os métodos de desinfecção artificial podem ser:

1. Cloração: a elevada dosagem de cloro aplicada ao efluente final provoca a morte dos patógenos, e por outro lado encarece o processo.
2. Ozonização: Possui alta eficácia na desinfecção devido ao poder oxidante presente na composição molecular no ozônio.
3. Radiação ultravioleta: gerada por lâmpadas especiais essa técnica impede a reprodução de agentes patógenos.
4. Membranas: são membranas de mui pequena dimensão, dessa forma constitui uma barreira física para os microrganismos, chamada de filtração ou nano filtração.

O processo de remoção de nutrientes do efluente final como o nitrogênio e o fósforo são feitos em lagoas. De acordo com Arceivala (1981, apud Sperling, 2005, p.322), os principais mecanismos de remoção de nitrogênio são: volatilização da amônia, assimilação da amônia e do nitrato pelas algas, nitrificação – desnitrificação e sedimentação do nitrogênio orgânico particulado. O fósforo presente no esgoto é composto de fósforo orgânico e fosfatos e sua remoção ocorre a partir da precipitação de fosfatos em condições de elevado pH.

2.2 EVOLUÇÃO DOS TIPOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO BRASIL

O Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) introduz que o início do sistema de tratamento de esgoto em estações de tratamentos começou a ser comercializado no Brasil, em 1930 a 1950, e o uso de processos anaeróbios para o tratamento era restrito a lagoas anaeróbias, aos decanto digestores e os digestores de lodo. Um dos principais métodos de tratamento de efluente, que deu início a essa evolução na saúde e no zelo com o meio ambiente, foram as lagoas de

estabilização. Devido ao baixo índice populacional, e a eficiência no tratamento o sistema foi amplamente difundido no território nacional.

A evolução da tecnologia de tratamento de esgotos em ambiente confinado e controlado iniciou-se com a constatação de que lagoas poderiam ser utilizadas para esse fim e também com as proposições, em 1893 e 1914, de sistemas que hoje são conhecidos como tanques sépticos e lodos ativados aeróbios, respectivamente (PROSAB, 1999, p. 2).

Segundo Jordão (2005) acreditava-se que o tratamento anaeróbio era aplicável apenas no processo de digestão de lodos, com alta concentração de sólidos, e o tratamento de águas residuais possuía melhor eficiência quando feito pelo processo aeróbio.

De acordo com PROSAB (1999), os pesquisadores James C. Young e Perry L. McCarty concluíram a eficiência dos reatores anaeróbios também para o tratamento de despejos líquidos, foi então que, os primeiros reatores começaram a ser concebidos, na Holanda. Devido ao pouco conhecimento desse tipo de tratamento na época, os mesmos trabalhavam com sua menor eficiência.

Considerando o crescimento das cidades e a pouca disposição territorial para o uso de lagoas, o controle ambiental voltado à contaminação do solo, do lençol freático e ainda o desmatamento, o tratamento de esgotos em lagoas de estabilização aos poucos foi cedendo lugar para outros métodos de tratamento. Estudos e pesquisas desenvolvidos no exterior sugeriram estações mais compactas, dimensionadas para atingirem maior eficiência no tratamento de efluentes.

Foi então que em 1980 os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) ganharam espaço no país.

Possuindo as limitações inerentes ao tratamento anaeróbio com baixa eficiência e difícil controle operacional em certos casos, porém com uma estrutura com áreas bastante reduzidas, o tornou mais atrativo quando comparado com lagoas anaeróbias (Nuvolari, 2011, p. 401).

Conforme PROSAB (1999), a exploração inadequada dos reatores UASB e o mau conhecimento do sistema fizeram com que a qualidade do efluente final desse processo fosse muito baixa, causando um comprometimento com o uso dos reatores em alguns órgãos estaduais e municipais de saneamento básico.

Todavia, com contínuas pesquisas feitas pela SANEPAR e a seleção de melhores concepções desses reatores, os mesmos vêm retomando a credibilidade para o tratamento de esgotos sanitários.

Em relação à demanda biológica de oxigênio (DBO) para processos anaeróbios, a Tabela 1 demonstra a eficiência dos sistemas, quando bem operados.

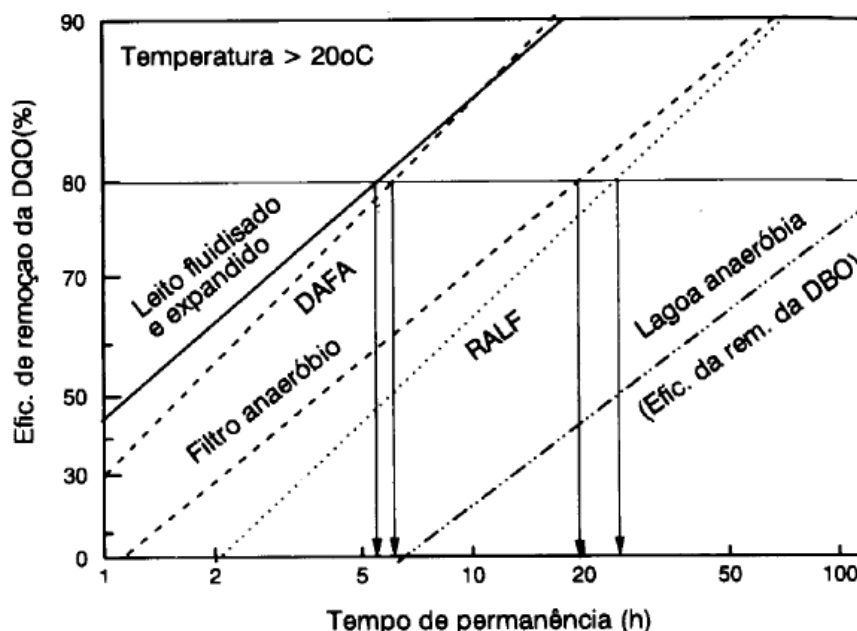
Tabela 1 - Valores comuns para DBO do efluente e de remoção em sistemas

Sistema anaeróbio	DBO de efluente (mg/l)	Remoção da DBO (%)
Lagoa anaeróbia	70-160	40-70
Reator UASB	60-100	55-75
Fossa séptica	80-150	35-60
Tanque Imhoff	80-150	35-60
Fossa séptica seguida de filtro anaeróbio	40-60	75-85
Reator compartimentado	70-160	40-65
Reator de leito expandido	60-100	60-75

Fonte: Adaptado de PROSAB (1999)

A eficiência do tratamento em reatores anaeróbios está relacionada ao tempo de detenção hidráulica do efluente sanitário. Dessa forma, a Figura 4 relaciona em um gráfico a eficiência da remoção da carga orgânica para três diferentes sistemas de tratamento anaeróbio – o reator do tipo DALF, do tipo RALF e lagoa anaeróbia com o tempo de permanência do efluente.

Figura 4 - Relação entre a eficiência da remoção de material orgânico e o tempo de permanência para diferentes tipos de tratamento



Fonte: Memorial descritivo da ETE Barra da Lagoa – CASAN (2000).

2.3 REATOR DE MANTA DE LODO ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE (UASB)

O reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) é uma tecnologia de tratamento biológico de esgoto, baseada na decomposição anaeróbia de matéria orgânica. Foi desenvolvido na Holanda na década de 70 pela equipe do professor Gatze Lettinga, por possuir operação simples e econômica, vem sendo estudado e aprimorado em diversos países, incluindo o Brasil.

O princípio de funcionamento desses reatores consiste em um processo anaeróbio, isso significa que durante a digestão do efluente, não há presença de oxigênio (O_2). Os reatores se enquadram no nível primário de tratamento e sua taxa média de redução de DBO gira em torno de 55% a 75%, de acordo com a Tabela 1. Devido às rigorosas legislações face à qualidade do tratamento, ficou evidente que o reator UASB por si só não atenderia aos novos padrões das legislações ambientais para o lançamento do efluente no corpo hídrico receptor, e, por esse motivo faz-se necessário um pós tratamento do esgoto após a passagem pelo UASB.

2.3.1 Processo de digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo fermentativo que tem como finalidade a remoção de matéria orgânica e a formação de biogás, de acordo com Lima (2006), esse método de digestão promove a transformação de compostos orgânicos complexos, como carboidratos, proteínas e lipídios, em produtos mais simples como metano e gás carbônico.

Nos reatores anaeróbios, a formação do metano é altamente desejável, uma vez que a matéria orgânica, geralmente medida como demanda bioquímica de oxigênio (DQO), é efetivamente removida da fase líquida, pois o metano apresenta baixa solubilidade na água (PROSAB, 1999, p. 31).

O objetivo dos sistemas anaeróbios é acelerar a digestão da matéria orgânica presente no efluente, para que isso aconteça as condições de pH, temperatura, nutrientes e ausência de materiais tóxicos devem ser controlados.

PROSAB (1999) cita as vantagens e desvantagens do tratamento por reatores UASB's. Dentre as vantagens estão:

1. Baixo consumo de energia;
2. Possibilidade de recuperação e utilização do gás metano como combustível;
3. Menor produção do lodo de excesso (o que gera uma economia na destinação final do mesmo);
4. Baixo custo de implantação e pequena demanda de área.

Os principais aspectos negativos estão relacionados com:

1. Sensibilidade do processo e mudanças e condições ambientais;
2. Geração de odores desagradáveis e corrosão;
3. Necessidade de um pós tratamento devido à baixa remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos;
4. Insuficiente redução de DBO para ser lançada no corpo hídrico receptor;
5. Maior tempo de detenção hidráulico.

2.3.1.1 Fases da digestão anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia pode ser dividido em quatro fases principais, sendo elas: hidrólise, acidogênese, acetogênese metanogênese, e ainda quando na presença de sulfato, a sulfatogênese.

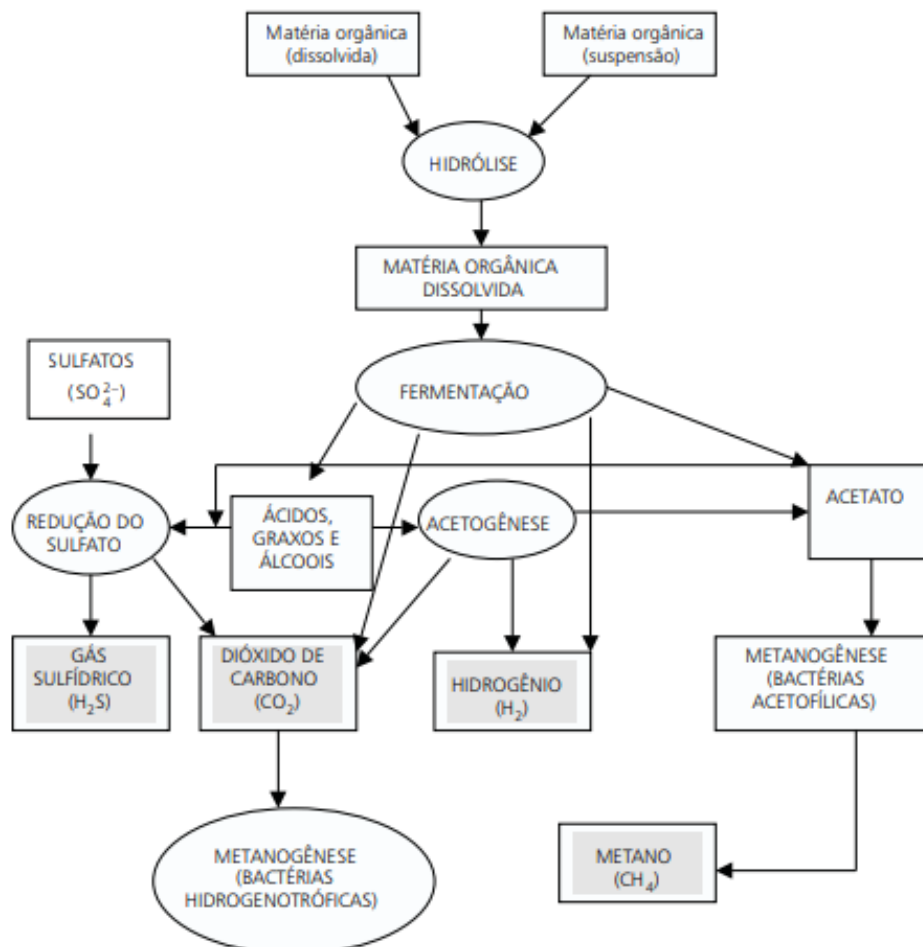
- A primeira fase no processo de degradação anaeróbia consiste na hidrólise de materiais particulados complexos (polímeros), em materiais dissolvidos mais simples (moléculas menores) (CHERNICHARO, 1997, p. 25). Esse processo ocorre graças às bactérias fermentativas hidrolíticas. Versiani (2005) exemplifica: os aminoácidos são formados pela hidrólise das proteínas, os carboidratos são hidrolisados em açúcares simples e os lipídios solúveis em ácidos graxos.
- Na acidogênese as bactérias fermentativas acidogênicas metabolizam as substâncias procedentes da etapa anterior até produtos mais simples. Segundo Versani (2005, apud KULISCH, 2011, p. 59) os principais produtos formados são ácido propiônico, ácido butírico, ácido acético, ácido láctico, ácido valérico, dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfídrico (H_2S), hidrogênio (H_2) e novas células microbianas. Em virtude da grande quantidade de ácidos gerados, essa etapa é denominada fase ácida.
- Durante a fase de acetogênese, as bactérias são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica e formam o substrato para as bactérias metanogênicas. Chernicharo (1997) ressalta que os produtos formados por essas bactérias são hidrogênio (H_2), o dióxido de carbono (CO_2) e o acetato. Durante a formação do hidrogênio o pH do meio aquoso decresce.
- A metanogênese, etapa final do processo de degradação anaeróbia de compostos orgânicos é feita por bactérias metanogênicas, onde a digestão dos elementos gerados na fase anterior resulta no metano (CH_4) e no dióxido de carbono (CO_2). Além do metano (70%) e do dióxido de carbono (30%) o biogás contém outros gases como nitrogênio, hidrogênio e ácido sulfídrico (H_2S) com concentrações inferiores a 1% (VERSANI, 2005, apud Kulisch, 2011, p. 59).

Chernicharo (1997) acrescenta a digestão sulfatogênica, onde a presença do sulfato em águas destinadas ao tratamento provoca uma competição entre as bactérias sulfurerdutoras e as bactérias fermentativas pelo substrato acetato, disponível no efluente. Essa disputa resultara em uma maior concentração de sulfato (SO_4^{-2}) quando houver maior presença de gás sulfídrico (H_2S) ou DQO quando houver maior presença de bactérias fermentativas.

A produção de sulfetos é o processo no qual o sulfato e outros compostos a base de enxofre são utilizados como aceptores de elétrons durante a oxidação de compostos orgânicos. Durante esse processo, sulfato, sulfito e outros compostos sulfurados são reduzidos a sulfeto, através da ação de um grupo de bactérias redutoras de sulfato. (VISSER, 1995 apud Chernicharo, 1997, p. 28)

Na Figura 5 pode-se observar a sequência metabólica e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.

Figura 5 - Diagrama esquemático de digestão anaeróbia



Fonte: PROSAB (1999)

2.3.1.2 Resultados da digestão anaeróbia

No processo de digestão anaeróbia, conforme já mencionado, as diferentes digestões metabólicas dos microrganismos, pode-se ter também a geração de diferentes gases. Os principais gases (em termos de porcentagem na composição do biogás) gerados nesses reatores são: metano (CH_4), gás carbônico (CO_2), gás amoníaco (NH_3), gás sulfídrico (H_2S), hidrogênio (H_2) e nitrogênio (N_2) (PROSAB, 1999, p. 250).

Deublein e Steinhauser (2008) apresentam como composição do biogás uma mistura gasosa composta por:

- 55 a 70% de Metano (CH_4);
- 30 a 45% de Dióxido de Carbono (CO_2);
- Outros gases em menores quantidades
 - Ácido Sulfídrico (H_2S);
 - Monóxido de Carbono (CO);
 - Amônia (NH_3);
 - Hidrogênio (H_2);
 - Nitrogênio (N_2);
 - Oxigênio (O_2);

Os compostos de enxofre presentes no esgoto, na presença das bactérias redutoras de sulfato, passam pelo processo de dessulfatação e resultam no ácido sulfídrico (H_2S) e anidrido carbônico (CO_2). De acordo com HOPPE et al (2014), o ácido sulfídrico, ao se desprender do efluente na forma de sulfeto de hidrogênio, reage parcialmente com o oxigênio do ar atmosférico, formando água (H_2O) e compostos de enxofre ($\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$; $\text{S}_4\text{O}_6^{-2}$; SO_4^{-2}), já a outra parcela do sulfeto de hidrogênio (H_2S), assim como o anidrido carbônico (CO_2), se dissolve na água contida na estrutura porosa do concreto, reduzindo gradativamente o pH.

Mockaitis (2008) diz que a forma mais estável e difundida dos compostos de enxofre é o íon sulfato e em águas residuais provenientes do processo anaeróbio, sua concentração varia de 20 a 50 mg/L.

Segundo a WATER ENVIRONMENT FEDERATION - WEF (1995), a concentração de sulfato em esgotos domésticos pode variar de 30 a 250 mg/L. A formação de sulfeto de hidrogênio a partir de sulfato segue uma

proporção estequiométrica de 1:3 em massa, ou seja, um mol de sulfeto de 32 gramas é produzido a partir de um mol de sulfato de 96 gramas. (KULISCH, 2011, p. 54).

Segundo BAIRD (1998), moléculas orgânicas como aminoácidos (resultantes da digestão acidogênica), possuem níveis intermediários de oxidação. Quando tais substâncias se decompõem anaerobicamente, gases contendo enxofre em formas reduzidas como metanotiol (SH) e dimetil sulfeto (C_2H_6S) são liberados.

2.3.2 Princípio de funcionamento do reator UASB

Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e de manta de lodo proporcionam um ambiente favorável para o crescimento de biomassa presente no efluente em tratamento, onde não se torna necessário o uso de um meio suporte para a digestão orgânica (como agregado ou polímeros, por exemplo). A própria biomassa, ao crescer, pode formar pequenos grânulos, correspondente à aglutinação de diversas espécies microbianas, e tendem a servir de meio suporte para outras bactérias (Sperling, 2005, p. 296). Para que haja um bom funcionamento de digestão no reator, é necessário que a concentração de biomassa seja elevada, o que justifica a denominação de manta de lodo.

De acordo com Sperling (2005), o líquido entra no reator pela parte inferior, ou seja, o fluxo se dá de forma ascendente, e ao se encontrar com o leito de lodo, a biomassa adsorve grande parte da matéria orgânica do efluente. Como visto no item 2.3.1.2, o resultado da atividade anaeróbica gera o gás metano e o gás carbônico os quais apresentam também a tendência ascendente dentro do reator.

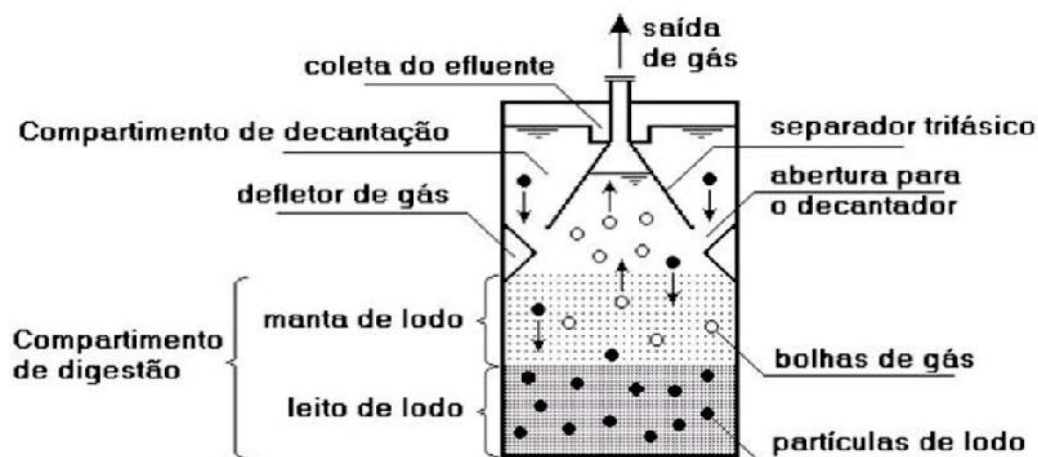
Segundo PROSAB (1999) devido à saída dos gases, ocorre junto o carregamento de lodo. Por esse motivo se faz necessário a instalação de um separador trifásico, que faz a separação dos gases, dos sólidos e dos líquidos na parte superior do reator, de forma a permitir a retenção e o retorno do lodo.

Os sólidos sedimentam na parte superior externa da estrutura cônica (do separador trifásico) no compartimento de sedimentação, deslizando pelas suas paredes com grande inclinação até retornarem ao corpo do reator (Sperling, 2005, p. 297).

Dessa forma o efluente sai do compartimento de sedimentação aclarado e a concentração de biomassa do reator se mantém elevada.

A Figura 6 representa o esquema de funcionamento do reator UASB.

Figura 6 - Desenho esquemático de um reator UASB



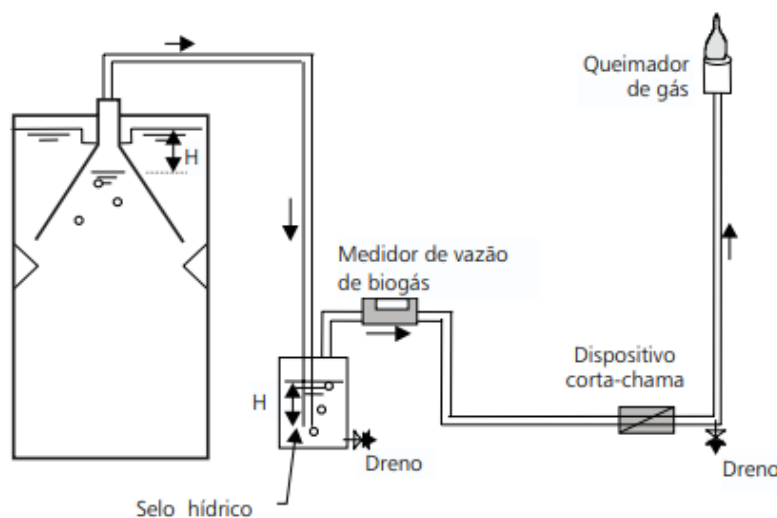
Fonte: Adaptado de Sperling (2005)

É importante destacar que, de acordo com PROSAB (1999), os reatores UASB requerem uma maior idade do lodo em seu interior em relação ao tempo de detenção hidráulico e a outros sistemas de tratamento, o que caracteriza o sistema anaeróbio de alta taxa. Usualmente a idade do lodo é superior a 30 dias.

2.3.2.1 Queimador de gás

A liberação do biogás na atmosfera é altamente poluente, causando riscos não apenas devido ao forte cheiro, mas principalmente pelos riscos inerentes ao gás metano, que é altamente inflamável e explosivo (dependendo das concentrações de oxigênio na atmosfera). Dessa forma, PROSAB (1999) explica a importância da coleta, medição e queima ou reutilização como fonte de energia. A coleta do biogás é feita a partir da interface líquido-gás no interior do reator composta de: tubulação de coleta; medidor; reservatório e; compartimento hermético (Figura 7).

Figura 7 - Diagrama de sistema de gases em um reator UASB



Fonte: PROSAB (1999)

2.4 USO DO CONCRETO ARMADO EM ETE

O concreto armado apresenta uma grande versatilidade para execução de estruturas, porém pode alegar desempenho inadequado diante dos fatores ambientais em que se expõem. A sua durabilidade depende grande parte dos detalhes e cuidados submetidos ao projeto, mas, sobretudo, dos cuidados durante o processo executivo.

Diante disso, pode-se observar a importância de estudos mais aprofundados e recomendações específicas para a construção das estruturas hidráulicas a fim de atender a durabilidade e estanqueidade, desde a dosagem e classe do concreto, especificação de agregados e aditivos, relação água/cimento, transporte, lançamento, adensamento, cura e também soluções executivas para os escoramentos, fôrmas e juntas.

Libório (1990) citado por PROSAB (1999) julga que para se alcançar o objetivo de uma estrutura com baixas taxas de absorção e permeabilidade, alguns fatos devem ser considerados:

- Utilização de concreto com baixa relação água cimento;

- Compactação rigorosa do concreto;
- Adequado processo de cura;
- Escolha de um cimento apropriado (Portland pozolânico).

2.4.1 Projeto

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, quando utilizadas conforme as condições ambientais previstas no projeto, conserve sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço, durante o período correspondente à sua vida útil (NBR 6118/03, 2014, p. 19).

A norma técnica NBR 6118 cuja versão em vigor é do ano de 2014, rege prescrições para projetos estruturais de qualquer natureza, seja em concreto simples, armado e protendido, não entrando no mérito do tipo de utilização final da edificação. De acordo com Chaves et al (2007), existe uma importante lacuna, na normalização brasileira, já que não se tem uma norma específica para os projetos de estruturas de concreto para obras hidráulicas e de saneamento. O que pode levar a alguns projetistas a adotarem critérios não apropriados a estes tipos de estruturas, tais como:

- Limite máximo de abertura de fissuras de flexão;
- Cobrimentos da armadura;
- Resistência mínima do concreto;
- Armadura de retração;
- Espessura mínima de paredes de reservatórios;
- Taxa mínima/máxima de armadura.

Chaves et al (2007) ainda afirmam que estruturas de obras de saneamento estão sujeitas aos carregamentos diferenciados, condições mais severas de exposição e critérios mais restritivos para a situação de serviço. Esses carregamentos incluem além de cargas permanentes e acidentais, cargas dinâmicas devido a equipamentos eletromecânicos (como bombas, geradores, motores), bem como ao próprio fluxo da água. Chaves et al (2007) salientam também a presença de agentes químicos agressivos em contato direto com o concreto e os ciclos de molhagem e secagem que exemplificam condições severas de exposição. Como

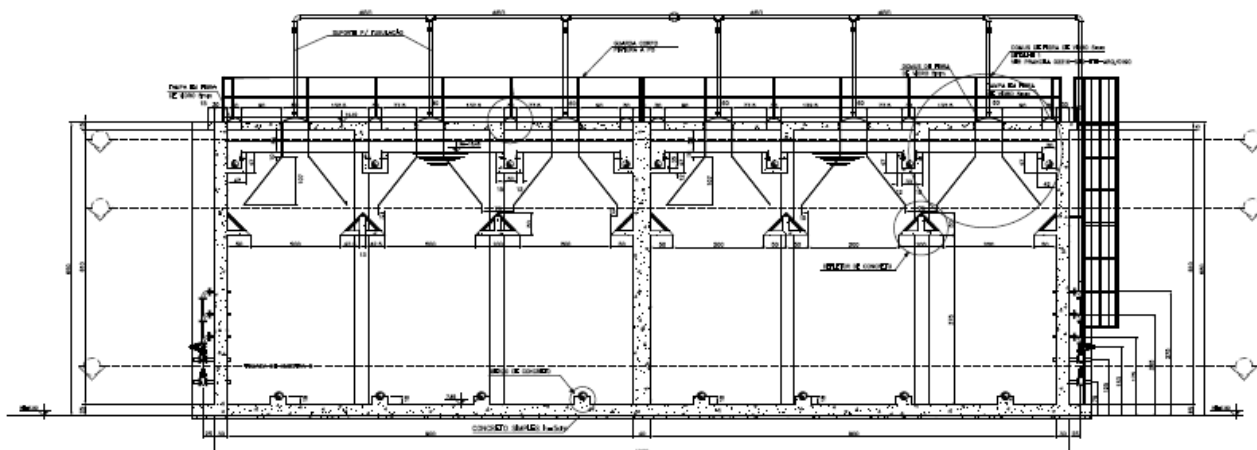
critério de serviço, é necessário que a estanqueidade seja uma premissa básica destas construções.

O estabelecimento de normas técnicas regulamentadoras para esse tipo de obra no Brasil se faz necessário visto que, com um procedimento específico, o produto final seria mais durável e seguro. A COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais elaborou uma norma interna que está em vigor desde 1994, cuja nomenclatura é T 175.

[...] a American Concrete Institute (ACI) já possui uma especificação própria para execução das obras de saneamento denominada “ACI 350 – Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures”. (Chaves et al, 2007, p. 33).

A Figura 8 ilustra o corte transversal de um modelo de reator UASB.

Figura 8 - Corte transversal de um reator UASB



Fonte: Projeto ETE Barra da Lagoa - CASAN (2000)

2.4.1.1 Grau de agressividade

A classificação do grau de agressividade de um ambiente foi elaborada de modo a auxiliar o projetista a bem dimensionar o concreto, com recomendações sobre a espessura do cobrimento da armadura, traço do concreto, relação água/cimento e outras características.

De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2014) “ agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto”. Dessa forma, a norma estabelece quatro classes de agressividade ambiental, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6116 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003)

Visto que a durabilidade de uma estrutura depende das características do concreto e da qualidade (e espessura) do cobrimento da armadura, a norma prevê valores mínimos de relação água/cimento, classe do concreto e cobrimento nominal [...] (KULISH, 2011, p. 30).

A norma interna da COPASA, que regulamenta o projeto e a execução de estruturas voltadas ao tratamento de esgoto, diz que para todas as unidades onde a estanqueidade seja primordial, é exigido um recobrimento de 4,0 cm - enquadrando obras de saneamento na classe de agressividade 4, com o objetivo de proporcionar maior proteção às barras da armadura. A norma, que se fundamenta na NBR 6118, ainda define que o menor diâmetro de armadura a ser utilizado nas obras de saneamento é de 5,0 mm.

2.4.2 Materiais

A degradação anaeróbia de compostos presentes no efluente em tratamento podem levar à formação de subprodutos altamente agressivos ao concreto armado, como visto no capítulo 2.3, item 2.3.1.2. Os materiais utilizados na construção dos reatores anaeróbios devem atender requisitos básicos de resistência à compressão e também a corrosão.

- Cimento:

Considerando as características das estruturas de concreto em obras de saneamento, Filho e Capuruçu (2007) dizem que os cimentos mais utilizados são do tipo: CP III, CP IV e CP V-RS ou cimentos especiais com propriedades específicas de baixo calor de hidratação, resistências a sulfatos, inibidor da reação álcali-agregado e resistência inicial e final compatíveis com o prazo de execução ou cronograma da obra. Cabe destacar que um único tipo de cimento deve ser usado em toda a estrutura.

- Agregados:

A preocupação com a proteção da estrutura deve-se começar na fase de construção, com a produção de um concreto com propriedades físicas e químicas adequadas. [...] para estruturas em contato com esgoto, como é o caso, recomenda-se utilizar a brita calcária, por possuir características que as fazem mais resistentes ao ataque dos sulfatos presentes neste tipo de estrutura. (SPERLING, 1986 apud Reis, Galdina e d'Ávila, 2007, p. 42).

A utilização de agregados graúdos e miúdos (compondo dois ou mais grupos de tamanho de agregados) na mistura do concreto resulta numa melhor variação de graduação, concedendo menor teor de vazios e, conseqüentemente, o aumento da massa específica reduzindo assim o volume de vazios da estrutura. Em todas as obras, os agregados devem ter a dimensão máxima compatível com o espaçamento das armaduras.

- Aço estrutural:

Um cuidado para esse tipo de obra é a utilização de aços especiais como aços patináveis. De acordo com Dutra et al (2013), aços patináveis possuem baixo teor de carbono o que os torna quatro vezes mais resistentes a corrosão quando

comparados com os aços estruturais convencionais. São comumente utilizados em construções onde o grau de agressividade da estrutura é elevado e exige maior resistência à corrosão.

- Concreto:

A classificação segundo a agressividade do ambiente para estruturas em concreto armado da abertura à uma outra norma, a NBR 12655 que fixa as condições exigíveis para o preparo, controle e recebimento de concreto. A Tabela 3 mostra a correspondência entre as classes de agressividade e a qualidade do concreto.

Tabela 3 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto kg/m ³	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360
CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado. CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2015)

Para condições especiais de exposição, devem ser atendidos os requisitos mínimos de durabilidade expressos na Tabela 4 para a máxima relação água/cimento e a mínima resistência característica (NBR 12655, 2015, p. 12).

Tabela 4 - Requisitos para o concreto, em condições especiais de exposição

Condições de exposição	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal	Mínimo valor de f_{ck} (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Condições em que é necessário um concreto de baixa permeabilidade à água, por exemplo, em caixas d'água	0,50	35
Exposição a processos de congelamento e descongelamento em condições de umidade ou a agentes químicos de degelo	0,45	40
Exposição a cloretos provenientes de agentes químicos de degelo, sais, água salgada, água do mar, ou respingos ou borrifação desses agentes	0,45	40

Fonte: NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2015)

Diante das exigências feitas pela norma, no que se refere à classe de agressividade e qualidade do concreto, a relação de água/cimento em massa deve ser $\geq 0,45$ para classe de agressividade IV. Para dosagens de concreto destinado às estruturas portante de líquido, como é o caso dos reatores anaeróbios, a norma exige baixa permeabilidade de água e baixo teor de vazios, sendo assim, máxima relação água/cimento para agregado normal é 0,5 e o mínimo valor de resistência é de 35 MPa.

- Aditivos:

Os aditivos normalmente usados para estes concretos são: plastificantes, plastificantes retardadores e super-plastificantes, estes últimos em geral a base de policarbixilato (FILHO e CAPURUÇU, 2007, p. 50). A especificação básica para obras de concreto da SANEPAR aconselha também o uso de aditivos que melhorem as características do concreto, tais como: plasticidades, homogeneidade, peso específico, impermeabilidade, resistência à compressão, etc.

2.4.3 Controle tecnológico

O controle tecnológico se torna de grande importância para obras onde as possibilidades de fissuras, falta de resistência, patologias devido à má execução e outros fatores prejudiquem o resultado final esperado para uma obra de estrutura estanque. Alguns procedimentos básicos para se produzir o concreto, transportá-lo e

aplicado, buscam garantir as características especificadas nas normas técnicas e projetos estruturais para esse tipo de obra.

- Transporte:

Os meios de transporte não devem provocar a segregação, não permitindo perda de argamassa ou de pasta de cimento, nem promovendo a separação entre os componentes do concreto (SOUZA E RIPPER, 1998, p. 28).

Devem ser considerados dois casos para a produção do concreto em obras de médio e grande porte: 1) Central de Concreto instalada na obra ou próxima a mesma; 2) Central de Concreto externa. Na primeira hipótese, pode-se ajustar o concreto na própria central e liberar o caminhão Betoneira para frente de concretagem. Na segunda hipótese, o concreto deverá ser transportado até a frente de concretagem, sendo então adicionado o aditivo super-plastificante e liberado para lançamento. Nos dois casos a norma interna da COPASA recomenda que se meça a plasticidade do concreto e se acompanhe o tempo de descarga, considerando o tempo de lançamento estabelecido na dosagem.

- Lançamento:

De uma maneira geral, as obras de porte médio e grande fazem o lançamento do concreto através de bombas. De acordo com Filho e Capuruçu (2007) é fundamental que se faça, com antecedência, o plano da concretagem de forma e assim, definir a capacidade de aplicação do concreto, o posicionamento das bombas, o sentido da concretagem, bem como as alternativas existentes em caso de ocorrer alguma falha nos equipamentos.

- Adensamento:

Os concretos com plasticidade da ordem de 200 mm são praticamente auto adensáveis. Assim sendo, a vibração tem a função de acomodar o concreto e deverá ser feita com cuidado para se evitar a segregação (FILHO e CAPURUÇU, 2007, p. 51).

Segundo Souza e Ripper (1998), a vibração e o adensamento do concreto, se não realizadas corretamente, podem levar à formação de vazios na massa (ninhas e cavidades) e a irregularidades na superfície, que além de comprometer o aspecto

estético facilitam a penetração dos agentes agressores, devido à porosidade superficial.

- Cura:

Nos concretos para obras hidráulicas a cura é fundamental para se evitar a fissuração por retração. De acordo com Filho e Capuruçu (2007), para as lajes a cura deve ser feita com lamina d'água. Em caso de peças de maior dimensão usa-se, durante a fase de concretagem a manta de "bidin" saturada. Para as paredes os autores recomendam usar a cura química que deverá ser aplicada simultaneamente com a desforma.

A cura química é a aplicação de produto, por aspersão, na superfície do concreto. A substância, que tem a função de impedir a evaporação da água, pode ser fabricada a partir de WAX, ceras, parafinas, PVA, acrílicos, estirenos, entre outros elementos. "A eficiência da técnica pode variar entre 40% e 100% dependendo da qualidade do produto" (HELENE, 2018).

2.4.4 Problemas, causas e cuidados a serem considerados durante a execução da obra

Os cuidados durante o processo de concretagem são fundamentais para assegurar elementos executados com qualidade.

Ao método de concretagem estão relacionadas, entre outras, as falhas no transporte, no lançamento e no adensamento do concreto, que podem provocar, por exemplo, a segregação entre o agregado graúdo e a argamassa, além da formação de ninhos de concretagem e de cavidades no concreto (SOUZA E RIPPER, 1998, p. 28).

2.4.4.1 Reações expansivas - fissuração no concreto

A fissuração do concreto é um dos principais problemas patológicos de uma estrutura de concreto destinada ao tratamento de águas residuais. De acordo com Thomaz (2007), em estruturas destinadas ao fim hidráulico, como reservatórios, reatores e outros tanques, as fissuras podem causar um comprometimento do desempenho destas, devido à falta de estanqueidade do concreto, o que leva a redução da sua durabilidade.

Essas fissuras se devem à diversos fatores, e ocorrem na maioria das vezes logo após a concretagem. Apesar do avanço tecnológico relacionado à dosagem de concreto, a fissuração ainda é inevitável.

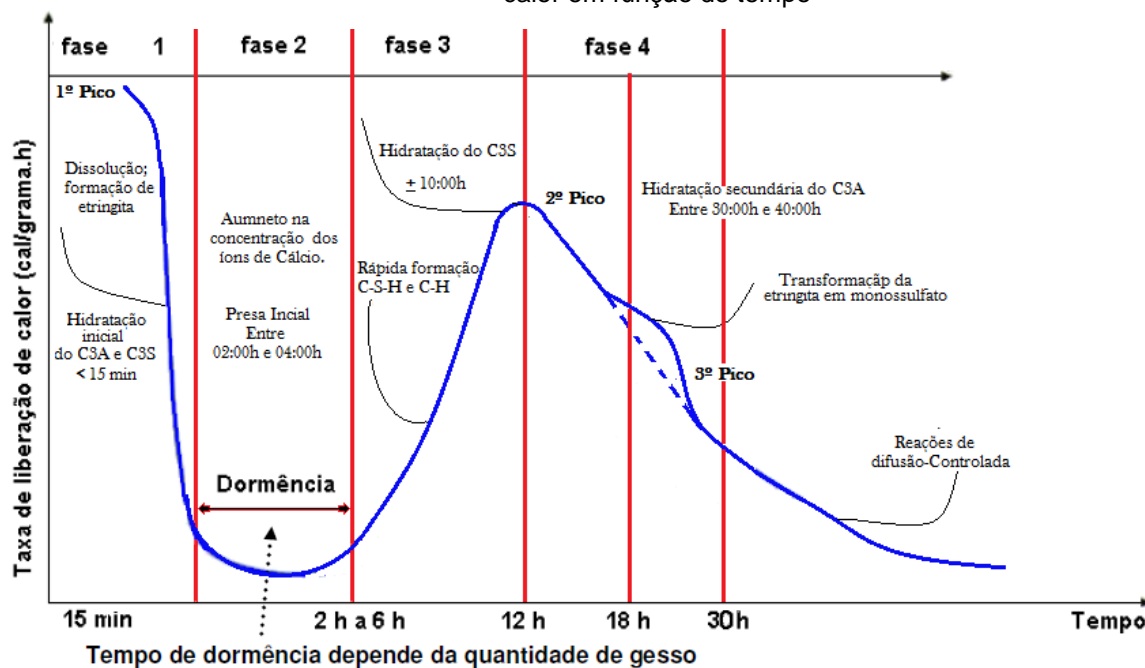
Uma cura inadequada aumenta as deformações específicas devidas à retração. Como esta deformação é diferenciada entre as diversas camadas constituintes da peça, principalmente se esta for de grandes dimensões, poderão ser geradas tensões capazes de provocar acentuada fissuração do concreto. Assim, pode-se dizer que, na prática, a cura é a última de todas as operações importantes na execução de uma peça de concreto armado, com reflexos diretos na resistência e durabilidade da estrutura (SOUZA E RIPPER, 1998, p. 30).

2.4.4.1.1 Causas da fissuração do concreto

O diâmetro do grão de cimento tem diminuído conforme os avanços em pesquisas da área, isso significa que com o cimento mais fino a hidratação do grão ocorre de forma mais rápida, levando a uma maior geração e liberação do calor de hidratação em um menor espaço de tempo.

De acordo com Neville (1997) a velocidade de hidratação inicial de cada composto é proporcional à área específica do cimento, ou seja, quanto maior a área específica de um composto maior será a sua velocidade de hidratação. A Figura 9 mostra as cinco fases da hidratação dos grãos de cimento considerando a taxa de liberação de calor (cal/grama.h) por tempo (horas).

Figura 9 - Fases de hidratação de grãos de cimentos expressas pela variação de liberação de calor em função do tempo



Fonte: Thomaz (2007)

[...] ao alcançar o pico máximo de temperatura, o concreto tende a se estabilizar com a temperatura ambiente, gerando tensões térmicas de tração que resultam na fissuração e, eventualmente, na perda de monolitidade da estrutura (SOUZA; SILVA; CASTRO, 2014, p. 27).

Além do calor de hidratação e em consequência dele, outras podem ser as causas da geração de tensões térmicas em concretos, resultantes de fissuras em estruturas de reservatórios. Thomaz (2007) cita as seguintes:

- 1) O impedimento de deslocamento que a laje de fundo provoca nas paredes do reservatório, devido à exaustão do calor proveniente das reações químicas da pasta de cimento;
- 2) O impedimento de retração da argamassa devido à perda de água para a atmosfera, por parte do agregado graúdo;
- 3) O impedimento da argamassa de se retrair ao secar por parte da armadura;
- 4) O fluxo de calor entre as camadas do concreto e entre o interior e a superfície externa da parede de concreto;
- 5) A retração plástica na fase fresca do concreto nas primeiras horas;
- 6) A retração hidráulica por causa da perda de água do concreto para o ar;

7) A retração térmica por resfriamento, ou seja, há a perda de calor do concreto para a atmosfera.

2.4.4.1.2 Limite de fissuração do concreto

Relacionado à durabilidade, a NBR 6118:2014 trata sobre o controle da fissuração dos elementos e proteção das armaduras. De acordo com a norma, o controle da fissuração pode ser realizado por meio da limitação da abertura estimada de fissura ou através do cálculo da tensão de serviço e verificação de diâmetros e espaçamentos máximos. A Tabela 5 mostra as exigências relativas à fissuração em função do tipo de elemento e da classe de agressividade.

Tabela 5 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção de armaduras, em função da classe de agressividade ambiental

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	–
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D ^a	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ^a	Combinação frequente

^a A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 50$ mm (Figura 3.1).

NOTAS

1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.

3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.

Fonte: NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2014)

Apesar de indesejável, o fenômeno da fissuração é natural (dentro de certos limites) no concreto armado. O controle da fissuração é importante para a segurança

estrutural em serviço, condições de funcionalidade e estética (aparência), desempenho (durabilidade, impermeabilidade, etc.). Deve-se garantir, no projeto, que as fissuras que venham a ocorrer apresentem aberturas menores do que os limites estabelecidos pela norma, demonstrados na Tabela 6, considerados nocivos.

A norma interna da COPASA adota, em projetos de estruturas hidráulicas, para efeito de verificação do estado de fissuração do concreto um limite de abertura equivalente a 0,1 mm, embora a NBR 6118 estabeleça o limite mínimo de 0,2 mm.

2.4.4.1.3 Cuidados preventivos

De acordo com Souza; Silva e Castro (2014) o calor de hidratação é evidenciado, conforme se aumenta a quantidade de cimento na mistura. Para minimizar esse problema, lançar mão do uso de cimentos do tipo CP-IV com baixo calor de hidratação, ou os que contenham adições pozolânica, pode ser uma boa alternativa. Estes cimentos devem ser empregados ao invés de cimentos comuns ou compostos (CPI ou CPII), pois diminuem o teor de clínquer e fazem com que as reações de hidratação ocorram mais lentamente.

Thomaz (2007) recomenda que se faça o uso de cimento com baixo calor de hidratação e que a variação térmica entre o início e o fim da concretagem não ultrapasse 25°C. Para isso, é comum que se faça o resfriamento do concreto com o uso de gelo, de forma que o concreto seja lançado com temperaturas mais baixas.

Para que sejam evitadas fissuras por retração em reatores com paredes de concreto, aconselha-se na concretagem o uso de formas de madeiras com duas folhas, de forma que se garanta uma camada interna de ar confinado que permita o resfriamento gradativo do concreto, dando tempo para que o mesmo possa ganhar resistência à tração. Ao contrário das formas metálicas, que são boas condutoras de calor e tendem a fazer o equilíbrio térmico com a temperatura ambiente de forma mais rápida, não dando tempo necessário ao concreto para que adquira resistências elevadas.

2.4.4.2 *Juntas de concretagem*

As juntas de concretagem podem ser divididas em juntas frias ou juntas de trabalho e junta de construção.

As juntas frias ou juntas de trabalho não programadas causam o endurecimento da superfície do concreto antes da colocação da camada seguinte. As especificações da SANEPAR instruem que se o atraso no lançamento provocar o endurecimento do concreto antes do lançamento da próxima camada deve ser vibrado o concreto já lançado na camada subjacente e o lançamento do concreto dever continuar com cuidados. Caso o concreto não puder ser penetrado pelo vibrador, a junta fria deve ser tratada como junta de construção.

As juntas de construção se devem a perda de aderência entre concretos em idades distintas, isso ocorre quando a superfície enrijecida estiver suja e não proporcione a devida aderência entre as mesmas. Recomenda-se que quando houverem juntas de construção, a nata de cimento seja removida do concreto de maior idade e fiquem salientes os agregados, de forma a garantir uma melhor aderência à base e evitar problemas posteriores como fissuras.

Souza e Ripper (1998) relatam que as consequências do lançamento do concreto sobre uma camada já em processo de endurecimento, podem gerar, entre outras, a segregação dos componentes do concreto, fazendo com que surjam pontos frágeis na estrutura, facilitando, a ocorrência de focos de corrosão.

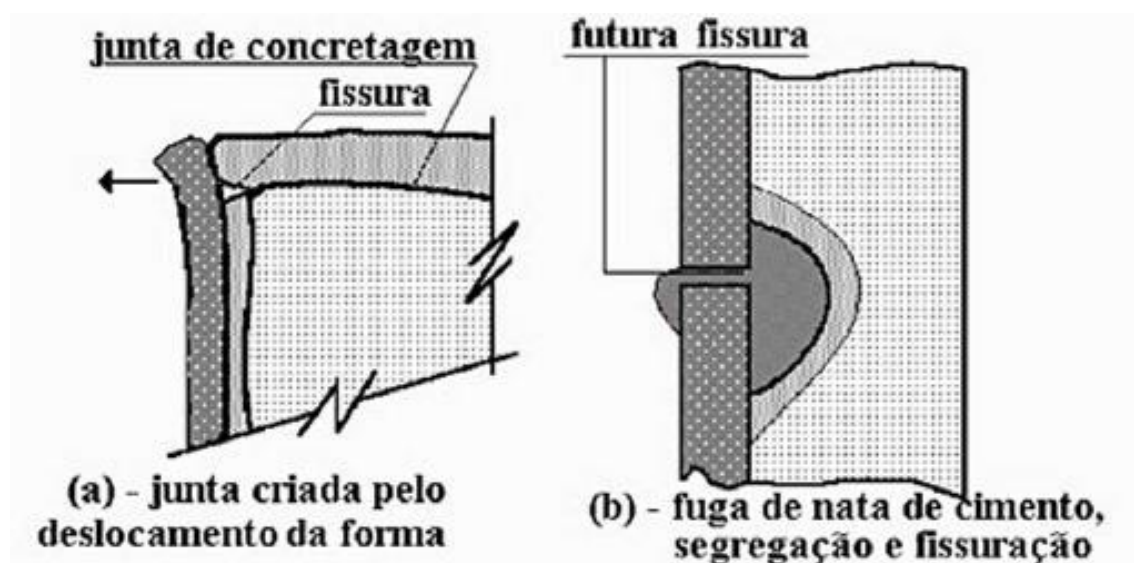
2.4.4.2.1 *Movimentação das formas*

A movimentação das formas durante a concretagem pode provocar juntas de concretagem não previstas, devido ao deslocamento lateral ou fuga de concreto devido à má junção entre os painéis de formas. De acordo com Souza e Ripper (1998), a fuga da nata de cimento pode causar a segregação do concreto e em consequência a desagregação que na maioria dos casos acompanhada de fissuração. Qualquer um destes casos levará à quadros patológicos, com o surgimento de fissuras no elemento estrutural, por enfraquecimento deste elemento em virtude da formação da junta de concretagem forçada, e normalmente com a

adesão prejudicada, ou com o enfraquecimento do próprio concreto, em virtude da fuga da nata de cimento.

Na Figura 10 é mostrado os dois casos, onde há a junta de concretagem ocasionada pela movimentação das formas (a), e fuga no concreto (b) também devido a movimentação das formas.

Figura 10 - Exemplo da desagregação do concreto devido à movimentação das formas



Fonte: Souza e Ripper (1998)

2.4.4.2.2 Impermeabilização

A impermeabilização de estruturas que receberão líquido durante toda sua vida útil é de suma importância. Nos últimos anos muito se investiu em pesquisas e desenvolvimento de novos produtos a fim de proteger esse tipo de estrutura e hoje no mercado existem diferentes opções que variam de acordo com a aplicação da estrutura. Pinto e Takagi (2007) distinguem os tipos de revestimentos impermeabilizantes entre minerais e resinas orgânicas. Os revestimentos orgânicos são constituídos principalmente por resinas de epóxi, poliuretano, furânicas, fenólicas ou de poliéster, já os inorgânicos são principalmente à base de cimento ou outros sistemas minerais.

A proteção anti-corrosiva pode ser aplicada à estrutura por meio de aditivos e/ou revestimentos especiais. Um estudo feito por Fortunato et al. (1998) recomenda

como possíveis soluções de revestimento a pintura do reator com borracha clorada ou epóxi betuminoso, segundo o autor, esses materiais formam uma barreira química para as superfícies expostas a ambientes de alta classe de agressividade. A Tabela 6 mostra os resultados obtidos por Fortunato.

Tabela 6 - Revestimento de concreto (características comparativas)

Revestimento	Vantagens	Desvantagens
Borracha clorada	<ul style="list-style-type: none"> • Menor custo 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa resistência a ácidos graxos
Epóxi Betuminoso	<ul style="list-style-type: none"> • Boa resistência a ácidos graxos • Pode ser aplicado com espessuras maiores • Menor permeabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Custo mais elevado

Fonte: Adaptado de PROSAB (1999)

2.5 PATOLOGIAS NO CONCRETO ARMADO EM OBRAS DE SANEAMENTO

A agressividade às estruturas de concreto armado em estações de tratamento de esgoto é de maior evidencia, graças a presença de agentes químicos e condições favoráveis para que a degradação do concreto armado aconteça, principalmente quando não executado com zelo. Embora não haja uma norma regulamentadora brasileira, as tolerâncias para com esse tipo de estrutura se tornam menores, visto que essas estruturas trabalharam na sua máxima solicitação durante toda vida útil.

Andrade (2007), afirma para que haja a garantia da sanidade da estrutura de uma obra de engenharia, há de se eliminarem os riscos de ocorrência de patologia no concreto nas fases de projeto, construção e vida útil (operação).

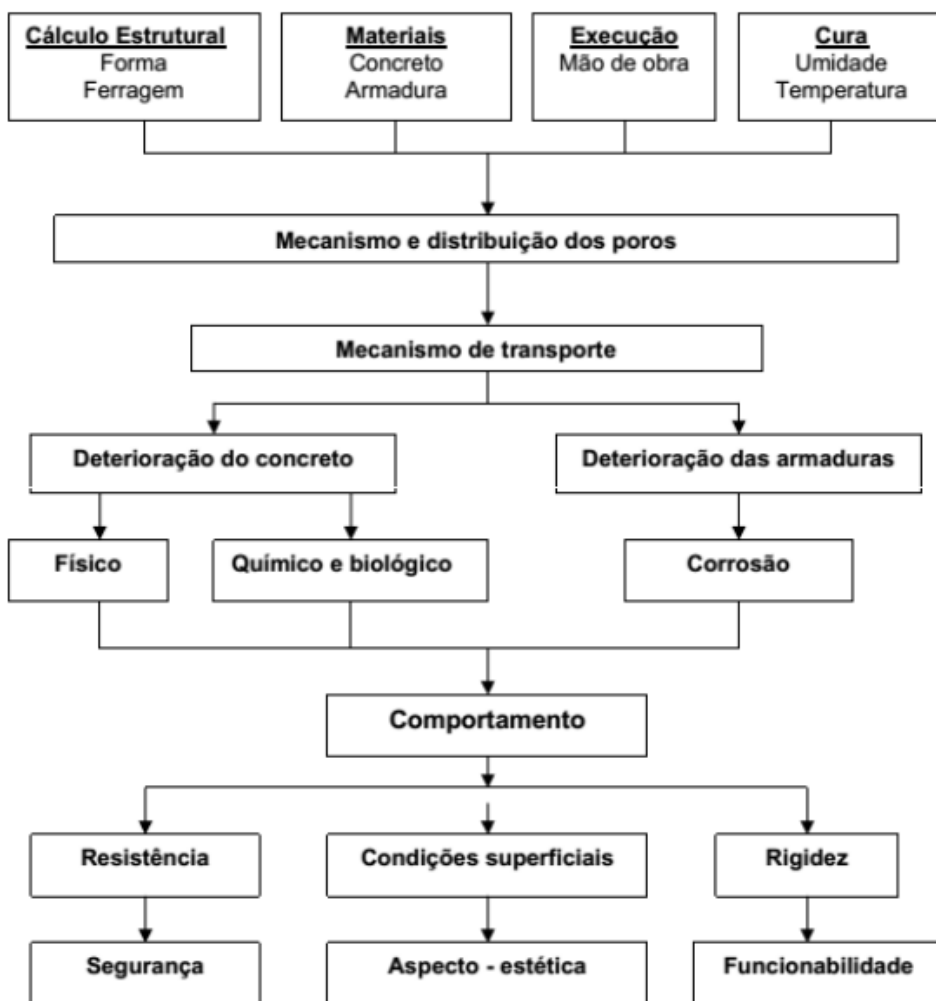
Já Reis, Galdina e d'Ávila (2007) mencionam que, uma vez em carga, este tipo de estrutura é de difícil paralisação e recuperação, o que justifica o cuidado e controle, tanto no que se refere ao projeto estrutural quanto à execução da obra.

Dentre as inúmeras manifestações patológicas, podem-se citar fissuras, deslocamentos, corrosão de armaduras, desintegração do concreto por ação de sulfatos, desgaste superficial, fadiga de juntas de dilatação, lixiviação, eflorescências, expansão, entre outras. [...] Dependendo da natureza dos problemas, do componente estrutural lesionado e do grau de severidade do ambiente, podem até mesmo acarretar problemas de instabilidade (CAMPANER et al., 2007, p. 68).

2.5.1 Patologias do concreto armado

A durabilidade de uma estrutura de concreto armado esta muito relacionada com os processos executivos que levaram a sua conclusão, envolvendo etapas como o cálculo e dimensionamento da estrutura, os materiais empregados, a forma de execução e a cura do concreto. A Figura 11 sintetiza as etapas da construção relacionando à durabilidade da mesma.

Figura 11 - Etapas da construção relacionado à durabilidade de uma estrutura em concreto armado



Fonte: Gomes (2018)

As principais manifestações patológicas no concreto armado na presença do biogás, esse composto de metano, gás carbônico, e outros gases em menor concentração é a ação na redução do pH no interior do concreto que ocorre devido à permeação desse gás nos poros do mesmo. Alteração do pH provoca a expansão interna do cimento, gerando um aspecto de “inchamento” e conseqüentemente a desagregação dessa fração do restante do concreto. Em decorrência desse fenômeno a armadura se torna cada vez mais exposta às ações corrosivas do metano, do ácido sulfúrico e do meio em que se encontra.

Na maioria das vezes, esse tipo e patologia ocorre devido ao recobrimento das armaduras que se apresentam abaixo dos valores recomendados pelas normas da ABNT; à execução do concreto elevado fator água/cimento, acarretando elevada porosidade e fissuras de retração; a ausência ou deficiência de cura adequada do concreto, propiciando a ocorrência de fissuras, porosidade excessiva, diminuição da resistência; a segregação do concreto com formação de ninhos de concretagem; a erros de traço e ao lançamento e vibração incorretos.

Para a verificação de causa das patologias, Arivabene (2015) menciona que em alguns casos é possível fazer um diagnóstico apenas através da visualização. Entretanto, em outros casos onde o problema é mais complexo, é necessário que se verifique o projeto, investigue as cargas a que foi submetida à estrutura; analise detalhadamente a forma como foi executada a obra e, como esta patologia reage diante de determinados estímulos. Dessa forma, o autor conclui que é possível identificar a causa dos problemas, corrigindo-os para evitar que se manifestem novamente.

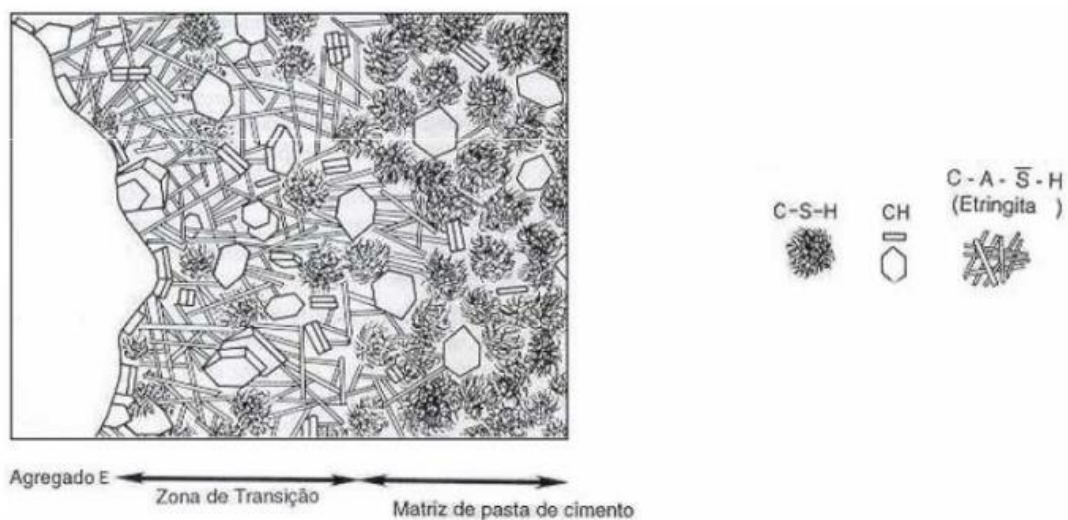
2.5.1.1 Constituição do concreto

O concreto pode ser definido segundo Araújo, Rodrigues e Freitas (2000) como o material resultante da mistura de aglomerante, agregado miúdo, agregado graúdo, água e, se necessário, aditivos, seguindo uma proporção pré-determinada. As três propriedades mais consideradas no concreto são a resistência mecânica, porosidade e durabilidade. Segundo Souza e Ripper (1998) a capacidade do concreto em resistir a diversos agentes químicos está ligada às características

físicas e químicas do cimento, tais como finura, expansibilidade, composição, presença de cal livre, etc e não apenas a sua resistência mecânica.

Relacionado as características físico-químicas durante a formação do concreto, Mehta e Monteiro (2008, apud KULISCH, 2011) descrevem a formação de cristais de grande dimensão na zona de transição, como pode-se ver na Figura 12. Essa região é de maior porosidade e quando comparado ao agregado e a pasta de cimento, apresenta baixa resistência.

Figura 12 - Representação da zona de transição e da matriz de cimento no concreto



Fonte: Kulisch (2011)

Mehta e Monteiro (2008) ainda definem os sólidos na pasta de cimento como os produtos das reações de hidratação: silicatos de cálcio hidratado (C-S-H), hidróxido de cálcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, sulfoaluminatos de cálcio (etringita) e grãos de clínquer não hidratados.

2.5.1.1.1 Tipos de cimento a durabilidade ao meio agressivo

De forma a que sejam diminuídos os riscos de que um concreto venha a se deteriorar precocemente, o cimento a ser utilizado em determinada obra ou serviço, ou em determinado elemento da estrutura, deve ser resistente ao agente agressor (SOUZA e RIPPER, 1998, p. 89).

Quando no meio ambiente o principal agressor for o sulfato, os autores recomendam que se utilize cimentos com baixo teor de aluminato tricálcico (C_4AF), pois o mesmo resiste pouco ao ataque químico. Esse componente possui pouca contribuição para a resistência mecânica e boa estabilidade química. Sendo assim, Souza e Ripper (1998) recomendam a utilização dos cimentos:

- Portland de alto-forno com teor de escória superior a 60%;
- Portland pozolânico com teor de pozolana entre 15% e 50%;
- Portland resistente a sulfatos;
- Portland com baixo teor de álcalis.

2.5.1.2 Tipos de patologias

Estudos mostram que um elevado percentual dos problemas patológicos em estruturas, tanto em edificações como e obras de infraestrutura, são originados nas fases de planejamento, projeto e devido à falta de manutenção. Essas falhas são geralmente mais graves que as relacionadas à qualidade dos materiais e aos métodos construtivos (ARIVABENE, 2015, p. 6). Nos itens a seguir serão listados alguns dos tipos mais comuns de patologias encontrados nos tipos de obras citados acima.

2.5.1.2.1 Infiltração, manchas, bolor ou mofo e eflorescência

De acordo com Miotto (2010), citado por Arivabene (2015), as formas patológicas encontradas com maior frequência são: infiltrações, manchas, bolor ou mofo e eflorescência.

A infiltração é o resultado de um processo onde o contato contínuo de água, ou outro líquido, fica aderido ao substrato (estrutura) e ocasiona manchas.

O bolor ou mofo se entende como sendo a colonização de diversas populações de fungos que se aderem a diferentes tipos de substratos, formando manchas escuras (verde, preto e marrom).

Eflorescência o autor define como sendo formações salinas que ocorrem na superfície das paredes, trazidas do interior pela umidade.

2.5.1.2.2 *Segregação do concreto*

Como definido anteriormente, o concreto é composto agregado graúdo (brita) e agregado miúdo (areia), água e cimento que juntos formam uma pasta homogênea onde as partes de maiores dimensões (brita) são envoltas pela argamassa. Se ocorrer alguma falha no momento de execução, lançamento ou adensamento do concreto é muito possível que ocorra a segregação do mesmo – os agregados de maior dimensão tendem a se depositarem na parte inferior da mistura, e a parte mais “ fina” na parte superior. Esse processo resulta em um concreto cheio de vazios, que permite a passagem de água com facilidade.

Piancastelli (1997) diz que esse processo de separação pode ser provocado, entre outras causas, por: lançamento livre de grande altura; concentração de armadura que impede a passagem da brita; vazamento da pasta de cimento através das fôrmas; má dosagem do concreto; uso inadequado de vibradores.

2.5.1.2.3 *Fissuras e trincas*

Como já descrito no item 2.4.4.1 do capítulo 2.4 as fissuras se apresentam como estreitas e alongadas aberturas na superfície de um material, sendo mais superficiais e não de alta gravidade. A NBR 15.575:2013 define fissura de um componente estrutural como sendo o seccionamento na superfície ou em toda seção transversal do componente, com abertura capilar, provocado por tensões normais ou tangenciais. A NBR 9575:2003 também define a fissura como sendo uma abertura ocasionada por ruptura de material, com abertura inferior ou igual a 0,5 mm.

As trincas representam a ruptura de um elemento em duas partes, Arivabene (2015) as define como sendo aberturas profundas e acentuadas. De acordo com a NBR 9575:2003, as trincas são aberturas ocasionadas por ruptura de um material ou componente com abertura superior a 0,5 mm e inferior a 1,0 mm e podem comprometer a função estrutural de um elemento.

2.5.1.2.4 *Carbonatação*

De acordo com a empresa que comercializa produtos à base de sílica para a construção civil - Tecnosil, a carbonatação pode ser definida como um processo físico-químico entre o gás carbônico (CO_2) e os compostos da pasta de cimento, para que isso ocorra precisa-se encontrar dentro do concreto: umidade, gás carbônico e oxigênio. A partir dessa reação é formado o carbonato de cálcio (CaCO_3) na região entre a superfície externa da estrutura e a armadura (área de cobertura). Devido à redução da alcalinidade promove no concreto zonas distintas de pH, dessa forma, quando a área de menor pH atinge a armadura, essa fica exposta à corrosão.

Figura 13 - Fenômeno de carbonatação exposto em viga



Fonte: Tecnosil (2017)

2.5.1.2.5 *Corrosão da armadura*

Helene (2002) define a corrosão das armaduras de concreto como um fenômeno de natureza eletroquímica que pode ser acelerado pela presença de agentes químicos externos ou internos ao concreto.

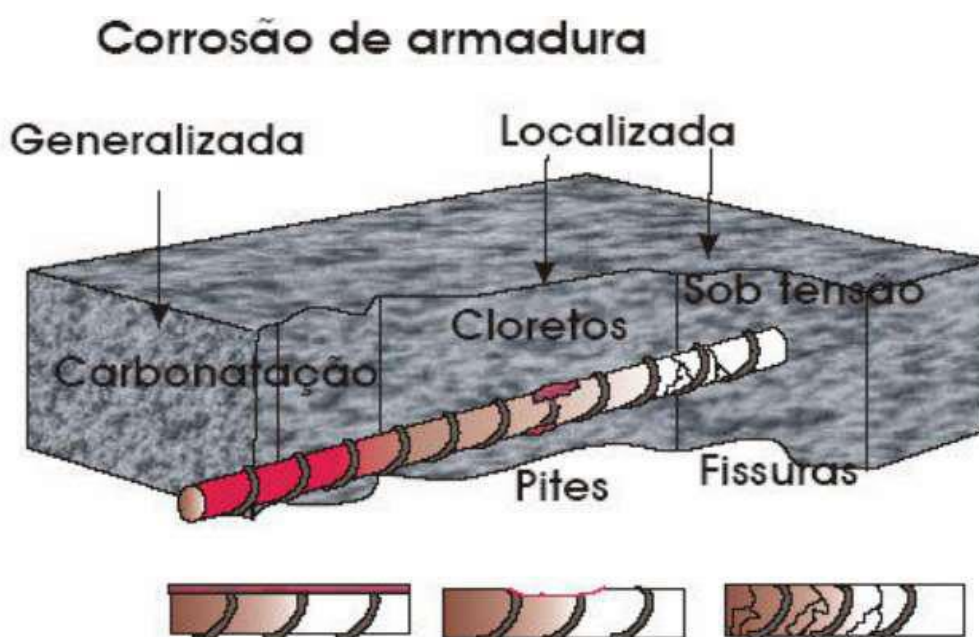
No concreto armado, o aço encontra-se no interior de um meio altamente alcalino no qual estaria protegido do processo de corrosão devido à presença de uma película protetora de caráter passivo, explica Cascudo (1997). A alcalinidade no interior do concreto provém da fase líquida existente nos seus poros que contém hidroxilas oriundas da ionização dos hidróxidos de cálcio, sódio e potássio. Mesmo em idades avançadas o concreto continua propiciando um meio básico que protege a armadura do fenômeno da corrosão (ARIVABENE, 2015, p. 10).

De acordo com Tutti (1982), pode-se observar dois períodos de corrosão. O primeiro período é o de iniciação, que é considerado desde a entrada do agente agressivo até o processo de despassivação da armadura. O segundo período

identifica à propagação, onde o processo de corrosão uma vez consolidado aumenta gradualmente, em escala exponencial, ocasionando graves danos à armadura.

Para Cascudo (1997), citado por Arivabene (2015) os principais agentes agressivos que desencadeiam a corrosão das armaduras são, a ação dos íons cloretos (corrosão localizada por pite), redução de PH do aço (corrosão generalizada que leva à carbonatação) e corrosão localizada sob tensão fraturante. Na Figura 14 são mostrados os tipos de corrosão e os fatores que a provocam.

Figura 14 - Tipos de corrosão e fatores que as provocam



Fonte: Arivabene (2015)

2.5.1.2.6 Corrosão do concreto

O concreto armado, além de suas características mecânicas que o tornam resistente a ações estruturais externas, deve ser dosado e moldado de modo a poder resistir a ações de caráter físico e químico, internas e externas. Miotto (2010) diz que a corrosão e a deterioração observadas em concreto, podem estar associadas a fatores mecânicos, físicos, biológicos ou químicos (ARIVABENE, 2015, p. 12).

A Tabela 7 descreve os fatores citados por Miotto (2010), que determinam a corrosão do concreto.

Tabela 7 - Fatores determinantes da corrosão em concretos

Fatores determinantes da corrosão em concreto	
Fatores mecânicos	Entre os fatores mecânicos, as vibrações podem ocasionar fissuras no concreto, possibilitando o contato da armadura com o meio corrosivo. Líquidos em movimento, principalmente contendo partículas em suspensão, podem ocasionar erosão no concreto, com o seu conseqüente desgaste. A erosão é mais acentuada quando o fluido em movimento contém partículas em suspensão na forma de sólidos, que funcionam como abrasivos, ou mesmo na forma de vapor, como no caso de cavitação.
Fatores físicos	Os fatores físicos, como variações de temperatura, podem ocasionar choques térmicos com reflexos na integridade das estruturas. Variações de temperatura entre os diferentes componentes do concreto (pasta de cimento, agregados e armadura), com características térmicas diferentes, podem ocasionar microfissuras na massa do concreto que possibilitam a penetração de agentes agressivos.
Fatores biológicos	Os fatores biológicos, como microrganismos, podem criar meios corrosivos para a massa do concreto e armadura, como aqueles criados pelas bactérias oxidantes de enxofre ou de sulfetos, que aceleram a oxidação dessas substâncias por ácido sulfúrico.
Fatores químicos	Os fatores químicos estão relacionados com a presença de substâncias químicas nos diferentes ambientes, normalmente água, solo e atmosfera. Entre as substâncias químicas mais agressivas devem ser citados os ácidos, como sulfúrico e clorídrico. Os fatores químicos podem agir na pasta de cimento, no agregado e na armadura de aço-carbono.

Fonte: Miotto (apud Arivabene, 2010)

2.5.2 Características físico-químicas do esgoto

Os níveis de ataques em estações de tratamento de esgoto variam de acordo com o ambiente de tratamento. A ação de bactérias digestoras de matéria orgânica em sistemas de tratamento anaeróbio costuma gerar grandes problemas de corrosão na parte superior das estruturas devido à formação de ácido sulfúrico biogênico. As características químicas de esgotos domésticos encontram-se apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Características químicas de esgoto doméstico

Análise	Concentração	Análise	Concentração
Sólidos Totais	1100 mg/L	Fósforo	14 mgP/L
DBO	350 mg/L	pH	6,7 - 7,5
Óleos e Graxas	110 mg/L	Alcalinidade	140 mg/L
Nitrogênio Total	50 mgN/L	Cloretos	35 mg/L

Fonte: Adaptado de Pinto e Takagi (2007)

De acordo com Pinto e Takagi (2007), a digestão das bactérias desulfovíbrio desulfuricans, sobre compostos orgânicos ou inorgânicos de enxofre presentes nos esgotos, produzem o gás sulfídrico (H_2S), que são indesejáveis pois oxidam e formam o ácido sulfúrico (H_2SO_4), que ataca a superfície do concreto e a armadura, ocasionando fragilização das barras de ferro.

2.5.3 Ataque químico ao concreto

O ataque ácido e a carbonatação são motivadores iniciais da degradação do concreto por ácido sulfúrico biogênico, já que reduzem o pH da solução aquosa dos poros para que ocorra a colonização de bactérias oxidantes (Mori et al., 1992; Estokova et al., 2012 apud Hoppe et al., 2014). Segundo Hoppe et al (2014) a contínua dissolução de sulfeto de hidrogênio entre os poros do concreto – que se encontram acima no nível do efluente, em $pH \leq 3,0$ - incita a formação de enxofre elementar, que como visto anteriormente, é rapidamente oxidado à sulfato graças a atividade microbiana.

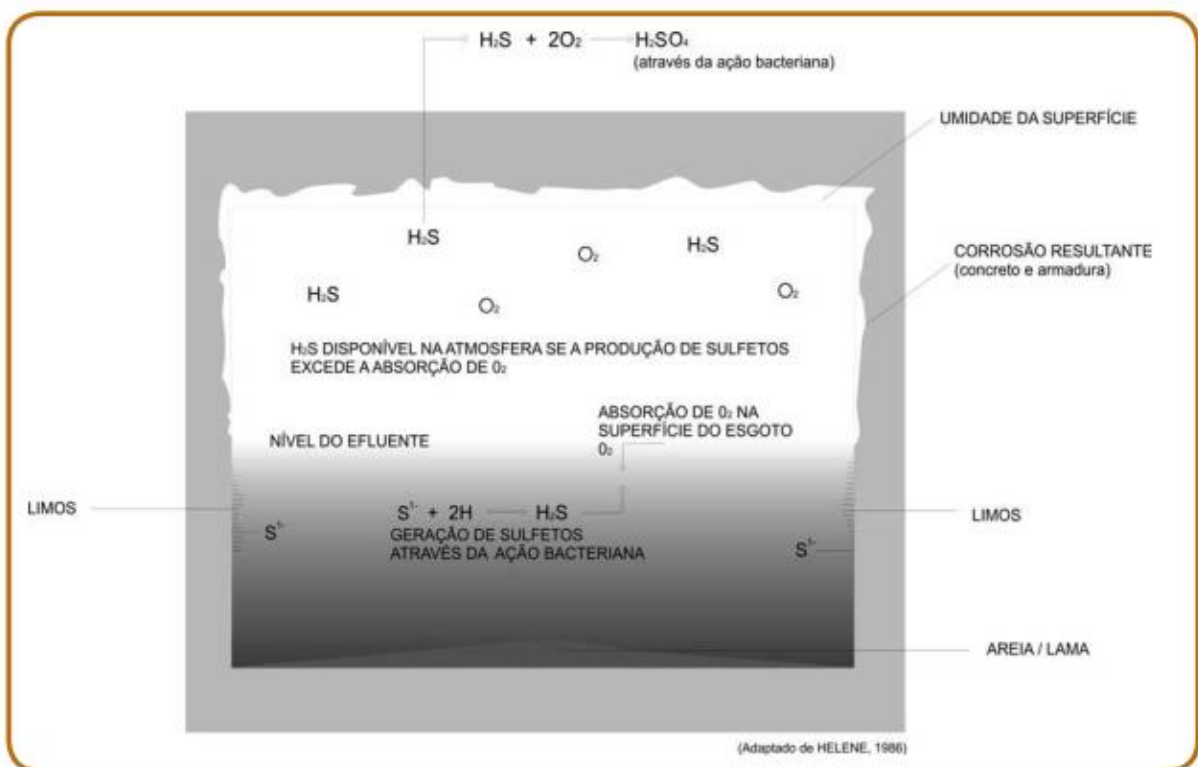
O microclima formado acima do nível do esgoto se caracteriza pela presença de anidrido carbônico, sulfeto de hidrogênio e oxigênio, componentes preponderantes para a atividade microbiana, além da água e de nutrientes. A maior disponibilidade destes últimos ocorre na região logo acima no nível do efluente, já que nesta há a influência da zona de respingos, a flutuação da carga de esgoto (imersão periódica) e a ação capilar da água. Assim sendo, os poros do concreto localizados imediatamente acima do nível do efluente propiciam condições adequadas para a ação das bactérias [...] (Hoppe et al, 2014, p. 86).

Pode-se concluir, portanto que a degradação do concreto na região logo acima do nível do efluente é mais intensa, quando comparado a outras regiões, e a degradação na região submersa torna-se desprezível.

Gutierrez-Padilla et al. (2010, apud Hope et al., 2014) ainda acrescentam que o ácido sulfúrico biogênico (H_2SO_4), ao se dissociar na água presente nos poros do concreto, formam íons hidrogênio (H^+) e sulfato (SO_4^{-2}) que interagem com os íons cálcio (Ca^{+2}) e hidroxila (OH^-) formando a gipsita ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) - sulfato de cálcio di-hidratado. O autor ainda ressalta que a presença da gipsita entre os poros do concreto forma a etringita, que se caracteriza como sendo um produto expansivo que causa pressão interna nos poros do concreto e, conseqüentemente, fissuração, acelerando o processo de degradação do concreto.

A Figura 15 exemplifica a reação química dos componentes orgânicos presentes no efluente em tratamento, em conjunto com os componentes do concreto, resultantes da corrosão do concreto e da armadura da estrutura.

Figura 15 - Mecanismo de deterioração do concreto por ataque de ácido sulfúrico biogênico



Fonte: Pinto e Takagi (2007)

2.6 ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS

Para garantir a segurança das estruturas de concreto é necessário averiguar sua condição com um nível elevado de precisão e detalhe. Uma das formas mais usual que há de se inspecionar e fazer diagnósticos do desempenho das estruturas de concreto é através de ensaios de resistência à compressão em testemunhos extraídos da própria estrutura. Porém, de acordo com a Téchne (2009), esse procedimento nem sempre é recomendado devido à geometria dos elementos estruturais, que muitas vezes não permite extrair testemunhos com as dimensões padronizadas para os ensaios, considerando também os riscos e danos que o seccionamento de estruturas pode causar.

Nesse caso, a utilização de ensaios não destrutivos passa a ser uma alternativa mais atraente, embora sejam restritos à avaliação da uniformidade da resistência mecânica do concreto, porém, quando combinados com métodos e detalhamentos de outras características pode-se ter uma precisão ainda melhor do diagnóstico levantado.

O desenvolvimento lento de técnicas não destrutivas para inspeção e avaliação das propriedades do concreto se deve ao fato desse material ser heterogêneo, causando interferências nas medidas realizadas, como atenuação, dispersão, difração e reflexão dos sinais (Mehta & Monteiro, 2008).

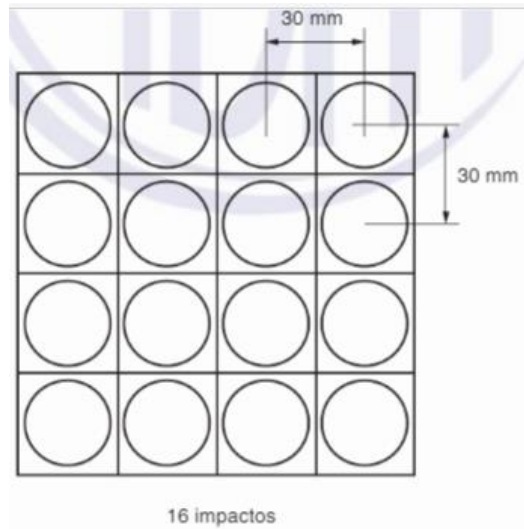
De acordo com Malhotra e Carino (2004), existem duas classes de métodos de ensaios não destrutivos para a aplicação em estruturas de concreto. A primeira classe consiste em métodos usados para estimar a resistência do material, como o ensaio de dureza superficial (esclerometria), resistência à penetração, ensaios de arranchamento e método da maturidade. A segunda classe, inclui métodos que medem outras características e defeitos internos do concreto por meio de propagação de ondas e termografia infravermelha.

2.6.1 Ensaio de Esclerometria

O ensaio feito com o esclerômetro de reflexão é um método não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido. A norma NBR 7584:2012 define alguns parâmetros do ensaio:

- Índice esclerométrico: Valor obtido através de um impacto do esclerômetro de reflexão sobre uma área de ensaio, fornecido diretamente pelo aparelho correspondente ao número de recuo do martelo.
- Área de ensaio: Região da superfície do concreto em estudo, onde se efetua ensaio. De acordo com a norma, a superfície deve ser polida, até que se faça a retirada de todo pó. A escolha da área, deve ser, preferencialmente, sobre faces verticais como: pilares, paredes, cortinas ou vigas. A norma recomenda também que o local seja afastado de regiões afetadas com a segregação, exsudação, concentração excessiva de armadura juntas de concretagem e cantos.
- Impacto: Ato de aplicação do esclerômetro de reflexão sobre um ponto da área de ensaio. A NBR 7584 (2012) recomenda que devem ser efetuados 16 impactos e não é permitido mais de um sobre o mesmo ponto e devem ser uniformemente distribuídos sobre a área de ensaio.

Figura 16 - Área de ensaio e pontos de impacto



Fonte: NBR 7584(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2012)

O aparelho consiste em uma massa-martelo que, ao ser impulsionado por uma mola, se choca através de uma haste, com a área de ensaio (NBR 7584, 2012, p 1). A energia do impacto é, em parte, utilizada na deformação permanente provocada a área de ensaio e, em parte, conservada elasticamente, propiciando, ao fim do impacto, o retorno do martelo. Vale ressaltar que, quanto maior a dureza da superfície ensaiada, menor a parcela da energia que se converte em deformação permanente e, conseqüentemente, maior deve ser o recuo ou a reflexão do martelo.

Figura 17 - Bigorna de aço



Fonte: NBR 7584 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2012)

2.6.1.1 Resultados do ensaio

Depois de feito o ensaio deve-se calcular a média aritmética dos 16 valores individuais (impactos) dos índices esclerométricos correspondentes a uma única área de ensaio.

Desprezar todo índice esclerométrico individual que esteja afastado em mais de 10 % do valor médio obtido e calcular a nova média aritmética. Nenhum dos índices esclerométricos individuais restantes deve diferir em mais de 10 % da média final. Se isso ocorrer, o ensaio esclerométrico dessa área deve ser desconsiderado (NBR 75841, 2012, p. 9).

O resultado do ensaio, de acordo com a NBR 7584 (2012) é denominado de índice esclerométrico médio da área de ensaio, e deve ser indicado por I_E . Para obter esse valor, deve-se seguir a seguinte equação:

$$I_{E\alpha} = K \cdot I_E$$

Onde,

$I_{E\alpha}$ - índice esclerométrico médio efetivo;

k - coeficiente de correção do índice esclerométrico;

I_E - índice esclerométrico médio.

A norma ainda destaca que em alguns casos pode ser necessária a aplicação de outros coeficientes de correção devido à influências como umidade, cura, idade, carbonatação e outras. De cada área de ensaio, obtém-se um único índice esclerométrico médio efetivo.

3 METODOLOGIA

Neste estudo foram vistoriadas 4 estações de tratamento de esgoto na cidade de Florianópolis, especificamente nas estruturas de tratamento de esgoto dos reatores tipo UASB. Essas estruturas apresentaram manifestações patológicas consideravelmente avançadas, implicando na urgente necessidade de manutenção e intervenção nesses reatores, a fim de controlar e mitigar as patologias encontradas.

A pesquisa se caracterizou como sendo teórica e experimental, já que foram investigadas as situações envolvidas às patologias de degradação estrutural e ensaio em campo. Através da teoria retirada de bibliografias e comparada aos dados coletados das após a análise dos reatores, pode-se convergir para um estudo mais específico do reator anaeróbio de manta de lodo três, da estação de tratamento de Canasvieiras. Esse, se mostrou mais deteriorado quando considerado seu ano de execução e início de operação, por ter sido o reator mais recente em ano do início de operação (2011) e apresentar um grau de deterioração semelhante ou até mais avançado, quando comparado com os demais UASB's, que tiveram início de operação no ano de 2007.

Através de projetos, vistoria do local e valores de resistência superficial (obtidos através do ensaio esclerométrico) foi-se concluído que a concepção do projeto para essas estruturas precisa de aperfeiçoamento, assim como a substituição de alguns dos materiais utilizados na estrutura e a urgente necessidade de intervenção, a fim de se evitar ainda mais a degradação avançada dos componentes do concreto armado e peças metálicas.

3.1 Coleta e interpretação dos dados

As informações presentes neste estudo foram obtidas através de três formas: vistoria do local, levantamento histórico do problema e da estrutura em questão e o resultado das análises.

A vistoria do local foi realizada com o objetivo de coletar dados através do levantamento fotográfico e preenchimento de um relatório referente às patologias manifestas em alguns reatores UASB em Florianópolis, (como na ETE da Barra da Lagoa, ETE da Lagoa da Conceição, ETE de João Paulo e ETE de Canasvieiras), os dados foram coletados também através de e-mails destinados a técnicos e engenheiros responsáveis pelas estações de tratamento de esgoto e a realização do ensaio esclerométrico.

3.1.1 Coleta dos dados

Os aspectos de deterioração do concreto armado e metais foram comumente observados em cada estação de tratamento, e posteriormente organizados em planilha. Dessa forma pode-se ter uma melhor visualização na leitura das informações coletadas durante as visitas técnicas, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9 - Aspectos observados na degradação do concreto e aço nas ETE's

Observações		ETE			
		BARRA DA LAGOA	LAGOA DA CONCEIÇÃO	CANASVIEIRAS	SACO GRANDE
Início de operação		2007	2007	2011	2007
Vazão média de projeto		63,00 L/s	50 L/s	156 L/s	11,5 L/s
Vazão máxima		94 L/s	73 L/s	Não fornecido	Não fornecido
Vazão média até Nov/2018		23,5 L/s	38,5 L/s	135 L/s	11,5 L/s
Volume tratado	Alta temporada	3.196,80 m ³ /dia	Não fornecido	13.478 m ³ /dia *1	Não fornecido
	Baixa temporada	1.728 m ³ /dia	Não fornecido		Não fornecido
Quantidade de UASB(s)		1	1	3 *2	1
Já passou por manutenção		Não	Sim	Não	Não
Desplacamento de concreto na laje superior do reator		Sim*6	Não visualizado	Sim*5	Sim. Avançado
Empoçamento de água da chuva sobre a laje		Não	Não	Não	Não

Fissuras e tricas em paredes, lajes e canaletas	Sim, na laje superior - paralela às canaletas	Recalque na parte inferior da escada. Não compromete a estrutura	Sim, entrea junta de dilatação, dos reatores 1 e 2	Sim, nas juntas de concretagem
Característica das juntas de dilatação	Marcas de concretagem, sem fissuras	Apresenta fissura nas juntas de dilatação	Execução de uma entrada para inspeção interna	Apresenta fissura nas juntas de dilatação
Existência e condições do queimador de gases	Sim, em desuso	Sim, em desuso *4	Sim, apenas o queimador do UASB 3 está em uso	Sim, em utilização
Oxidação das tubulações	Sim	Sim	Sim	Sim
Material das tampas de vedação e condições	Fibra de vidro. Não cumpre a função de vedação *3	Fibra de vidro. Cumpre a função de vedação em partes (corrosão do concreto e mau encaixe)	Pultrudado, em boas condições	Fibra de vidro. Cumpre a função de vedação em partes (corrosão do concreto e mau encaixe)
Vazamento de gás em insertes metálicos chumbados no reator	Há vazamento de gás devido à corrosão do concreto das canaletas	Corrosão do concreto nas canaletas e mal encaixe das tampas	Utilização de tampas metálicas na laje superior, corrosão da mesma e má vedação	Sim, pelas frestas deixadas pela corrosão com concreto e má encaixe das tampas
CONSIDERAÇÕES				
*1 -	Não especificado o período			
*2 -	Duas unidades de UABS são utilizadas como tratamento primário e uma como tratamento secundário			
*3 -	Previsão de troca			
*4 -	Aparentemente foi trocado, porém não está em funcionamento.			
*5 -	Deslocamento homogêneo ao longo das canaletas do reator (devido à distribuição homogênea do esgoto por tubulações que fazem a ascensão do fluxo).			
*6 -	Deslocamento mais concentrado no centro do reator - extremidades não foram tão atingidas pelo gás. (Devido à entrada do efluente que é feito por tubulação rígida, no centro do reator, e não distribui homogeneamente o esgoto).			
*7 -	Mal posicionado, baixa altura e ao lado da escada.			

Fonte: Autoria própria

De acordo com a Tabela 9, pode-se verificar que o ano de início de operação dos reatores UASB's se deu em 2007, com exceção do UASB de Canasvieiras, o qual teve início no ano de 2011. Tendo em conta a vazão média de projeto, e o volume tratado durante o ano, pode-se verificar que a maior demanda está na ETE de Canasvieiras, principalmente durante os meses de alta temporada. Dessa forma, para suprir a vazão de esgoto bruto recebida na estação de tratamento, foram construídos 3 reatores UASB's, sendo dois deles utilizados como tratamento primário e o terceiro destinado à redução do lodo de toda a ETE.

Pela Tabela 9, pode-se também notar que apenas a ETE do Saco Grande possui o queimador de gás em funcionamento. Os queimadores de gás das ETE's da Barra da Lagoa e de Canasvieiras (dos UASB's 1 e 2) nunca entraram em funcionamento, o que prejudica, não só o meio ambiente e a população local, mas como também as estruturas de concreto armado como um todo.

A degradação do concreto na laje superior dos reatores vistoriados provocou um mau encaixe e má vedação das tampas das canaletas, permitindo a fuga dos gases por qualquer orifício ou inserts na superfície do reator, como mostram as Figuras 18 e 19.

Figura 18 - ETE Saco Grande – Degradação do concreto das canaletas



Fonte: Autoria própria

Devido à fuga dos gases citados acima, pode-se notar que a oxidação das tubulações metálicas, tampas de vedação e demais componentes metálicos são bastante avançados em todas as estações de tratamento visitadas.

Figura 19 - ETE Lagoa da Conceição – Oxidação da canalização do queimador de gás



Fonte: Autoria própria

Foi observado também que, a acentuada degradações nas laterais das faces internas da laje de cobertura dos reatores (Figura 20).

Figura 20 - ETE Saco Grande – Degradação do concreto das canaletas



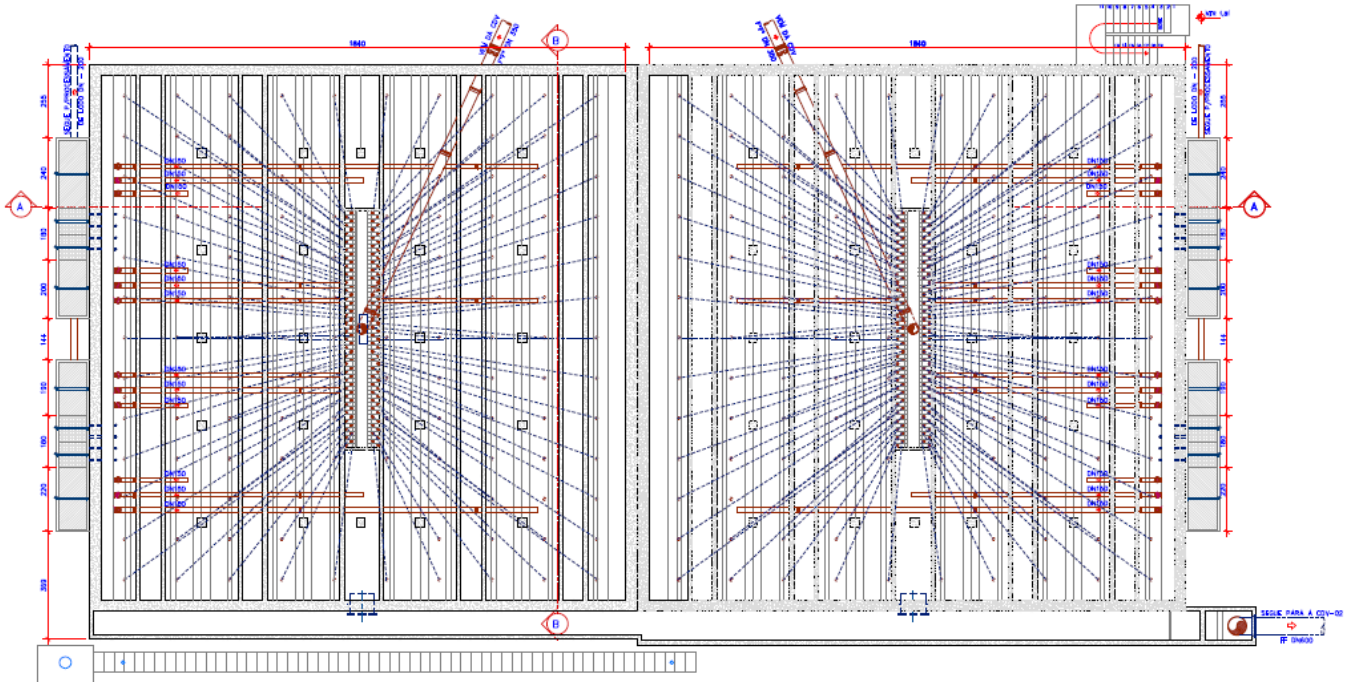
Fonte: Autoria própria

Essa degradação no reator UASB de Canasvieiras se deu de forma homogênea, ou seja, a degradação do concreto aconteceu com intensidade muito

semelhante em toda a área de cobertura. Já no reator UASB da Barra da Lagoa, foi visto que a degradação das laterais internas das tampas ocorreu de forma mais acentuada nas canaletas do centro. Tal fato se deve à distribuição do esgoto bruto no interior do reator. Uma vez que a entrada no UASB de Canasvieiras é feito por tubulações que conduzem o afluente de forma que o esgoto fique igualmente distribuídos no interior da estrutura e assumem um fluxo ascendente. Já a distribuição do esgoto bruto na entrada do reator da Barra da Lagoa é feita por tubulações rígidas, posicionadas no centro do reator, dessa forma, uma maior concentração de matéria orgânica presente do afluente é decomposta na região central e conseqüentemente a produção dos gases também é maior nessa região.

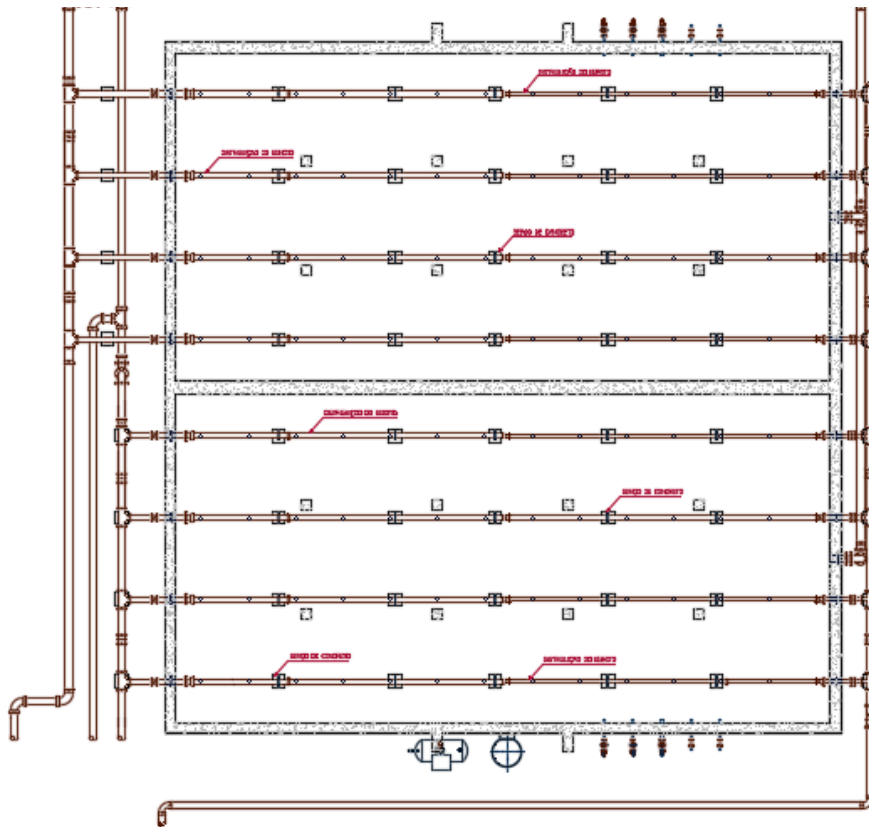
A distribuição do esgoto bruto no interior dos reatores UASB's está ilustrado nas Figuras 21 e Figura 22.

Figura 21 - Distribuição do esgoto bruto no interior do UASB 1 e 2 - ETE Canasvieiras



Fonte: Projeto ETE Canasvieiras - CASAN (2008)

Figura 22 - Distribuição do esgoto bruto no interior do UASB - ETE Barra da Lagoa



Fonte: Projeto ETE Barra da Lagoa - CASAN (2000)

Foram observadas também, fissuras presentes nas juntas de concretagem e juntas de movimentação, contudo conclui-se que essas não interferem na sanidade da estrutura, uma vez que se tratam de fissuras por movimentação térmica (presente em todas as ETE's visitadas). Já no reator UASB da Barra da Lagoa foi registrada uma fissura perpendicular à tampa canaleta central, na parte superior da estrutura, e exposição da armadura oxidada, como mostram as Figuras 23 e 24.

Figura 23 - ETE da Barra da Lagoa -
Degradação do concreto das canaletas e
fissura



Fonte: Autoria própria

Figura 24 - ETE Barra da Lagoa – Oxidação de armaduras



Fonte: Autoria própria

Nesta avaliação visual percebe-se que os alambrados e materiais metálicos foram mal escolhidos, visto que o metal utilizado apresenta-se pouco resistente às ações dos gases gerados nas estações de tratamento vistoriadas.

3.2 Escolha do estudo de caso

Os reatores que passaram por vistoria neste trabalho se encontram similarmente em estado de degradação avançado. A escolha do estudo de caso foi baseada nos dados obtidos através das visitas técnicas e de análise de projetos, tendo em conta que os reatores da ETE de Canasvieiras foram construídos em 2011 e os demais reatores em 2007, este, mostrando similares avanços de patologias quando comparado com os reatores mais velhos.

Sendo assim, optou-se por fazer o estudo de caso no **reator UASB três da estação de tratamento de esgoto de Canasvieiras**. O reator anaeróbico de manta de lodo com fluxo ascendente é utilizado na estação como parte do tratamento secundário, e cumpre a função de reduzir o lodo excedente do tratamento final em até 4% de sólido de toda a estação de tratamento.

3.2.1 Especificações técnicas do projeto estrutural e executivo – ETE CANASVIEIRAS

De acordo com as especificações técnicas do projeto estrutural em concreto armado, a estrutura do reator UASB 3 foi projetada para ser executada em concreto armado convencional, sendo especificada uma resistência característica do concreto (f_{ck}) em 30 MPa, e cobrimento de 4,5 cm. Todos os carregamentos considerados foram obtidos na análise do projeto arquitetônico e nas premissas descritas na NBR 6120 – Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações.

A análise da estrutura foi realizada considerando o funcionamento pleno da unidade. Os modelos gerados a partir das análises, consideraram diversas situações de carregamento aplicáveis às unidades, relacionados a seguir:

- 1) À unidade enterrada ou semi enterrada; foi realizada a análise do tanque vazio com a aplicação do empuxo do solo;

- 2) Foi realizada a análise do tanque cheio sem a aplicação do empuxo de solo;
- 3) Foi realizada a análise do tanque cheio com a aplicação do empuxo;
- 4) Para as unidades em houvesse vários furos de sondagem, foi realizada a análise dos recalques diferenciais.

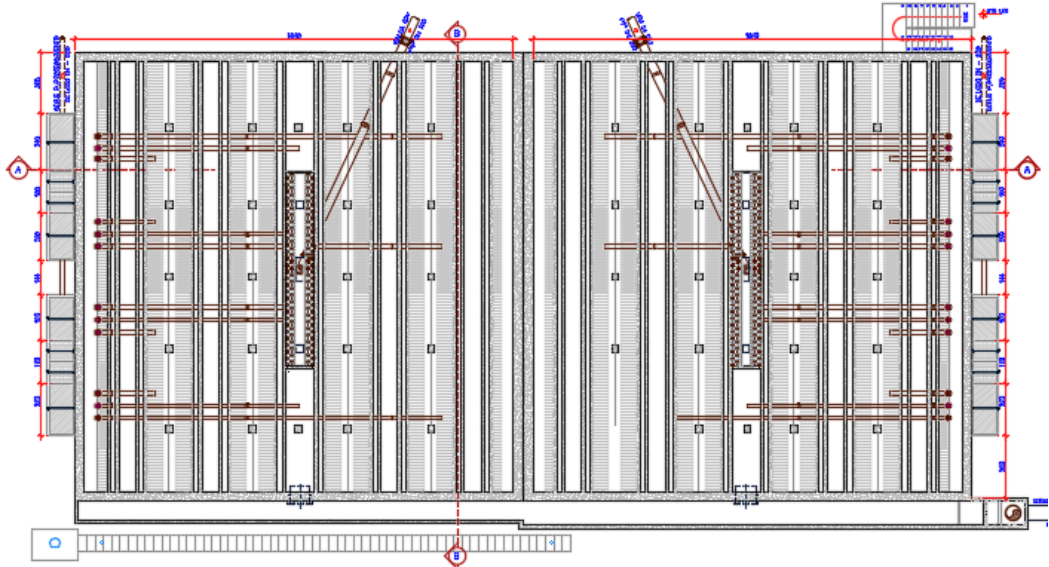
A recomendações de projeto ressaltam que: “os materiais a serem empregados, bem como a mão-de-obra deverão ser de primeira qualidade e comprovada experiência e capacitação, visando a boa técnica e acabamento esmerado, obedecendo às normas técnicas pertinentes (ABNT).”, não especificando quais materiais devem ser utilizados para a impermeabilização da estrutura. O traço do concreto a ser utilizado é que responsabilidade do construtor, o qual deve seguir as prescrições das normas técnicas “A composição ou traço da mistura deverá ser determinado de acordo com a ABNT, baseado na relação do fator água/cimento e na pesquisa dos agregados mais adequados e com granulometria conveniente, com a finalidade de se obter: mistura plástica com trabalhabilidade adequada; produto acabado que tenha resistência, impermeabilidade, durabilidade e boa aparência.”

A execução dos sistemas de escoramento também não possui especificações técnicas do projetista apenas recomendações para que sejam convenientemente dimensionados de modo a não sofrer, sob ação do peso próprio da estrutura e das sobrecargas advindas dos trabalhos de concretagem, deformações ou movimentos prejudiciais à estrutura. A recomendação do uso das formas para a concretagem é que seu material deva ser de madeira compensada ou madeira de pinus. “ Os painéis de formas poderão ser várias vezes reaproveitados, desde que não apresentem defeitos em suas superfícies, que não possam deixar marcas no concreto, e que o revestimento impermeabilizante não esteja danificado.” (SES Canasvieiras - especificações técnicas do projeto de estruturas de concreto armado, 2008)

Os procedimento de adensamento e vibração do concreto são minuciosamente descritos no manual apresentado junto ao projeto estrutural e considera as diversas situações de concretagem durante a execução da obra.

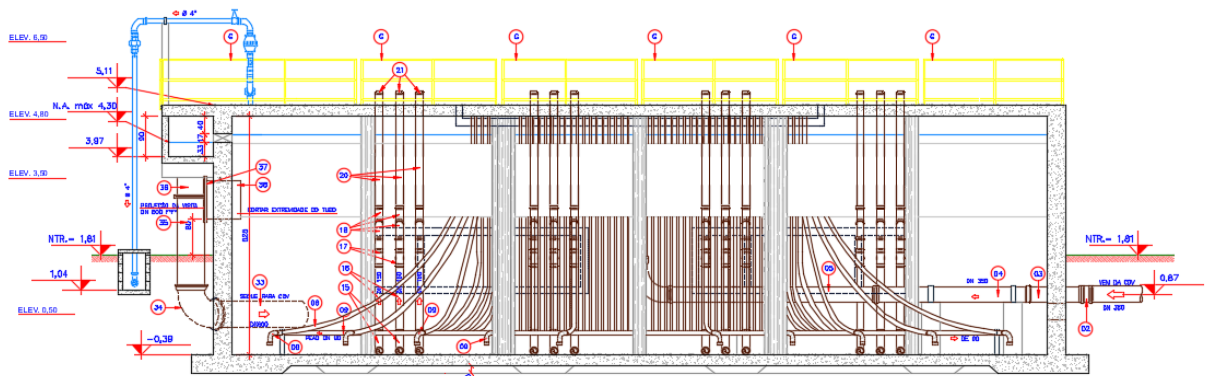
A Figura 25 foi retirada do projeto arquitetônico da ETE Canasvieiras e representa a planta baixa do reator UASB 3. Já a Figura 26 é o corte BB do reator mesmo reator.

Figura 25 – Planta baixa do reator UASB



Fonte: Projeto ETE Canasvieiras - CASAN (2008)

Figura 26 - Corte BB do reator UASB



Fonte: Projeto ETE Canasvieiras - CASAN (2008)

3.3 Vistoria externa da estrutura

Junto ao ensaio esclerométrico realizado na estrutura do reator UASB três, foi feita uma vistoria na parte externa do mesmo reator e constatou-se deficiências construtivas que visivelmente tem acelerado o processo de degradação da estrutura de concreto armado.

3.3.1 Cobrimento

De acordo com o projeto de execução da ETE Canasvieiras, e as especificações técnicas do projeto de estruturas de concreto armado dos reatores UASB's, o cobrimento estipulado é de 4,5 cm, e está de acordo com os padrões mínimo exigidos pela norma NBR 6118, para a classe de agressividade imposta. Na Figura 27 pode-se notar a exposição da armadura na parede frontal do reator devido à falta de cobrimento.

Figura 27 - Exposição da armadura devido à falta de cobrimento



Fonte: Autoria própria

Pode-se concluir que o cobrimento mínimo estipulado em projeto não foi respeitado durante a execução da obra civil, quer seja pela falta dos espaçadores entre as barras de aço e a forma ou pela alta pressão de lançamento do concreto que acarretou na remoção dos mesmos, resultado da pouca espessura entre a armadura e a face externa do reator (menos de 1 cm). Tal fato, ao longo do tempo provocou a exposição das armaduras e, conseqüentemente o acelerando o processo de oxidação das barras de aço.

3.3.2 Falhas de concretagem

As especificações técnicas do projeto de estruturas de concreto armado enfatizam que a vibração do concreto, quando lançado no interior das formas, deve ser feito de forma adequada para evitar segregações da pasta. “ O concreto deverá ser depositado nos locais de aplicação, diretamente em sua posição final, através da ação adequada de vibradores, evitando-se a sua segregação. ” (SES Canasvieiras – especificações técnicas do projeto de estruturas de concreto armado, 2008). Porém, pode-se constatar algumas falhas de concretagem em torno das faces externas do reator, como mostra a Figura 28.

Figura 28 - Falha de concretagem



Fonte: Autoria própria

Tal fato, quando ocorrido na face interna do reator, a qual estará em contato direto com o efluente em tratamento e os gases produzidos durante o processo, pode causar danos ainda mais severos à integridade da estrutura, principalmente se essa falha de concretagem tenha ocorrido na região onde há ciclos de molhagem e secagem do concreto. As falhas de concretagem muitas vezes não podem ser totalmente evitadas, uma vez que: “ Os vibradores de parede só deverão ser usados se forem tomados cuidados especiais, no sentido de se evitar que as formas e as armaduras possam ser deslocadas. ” (SES Canasvieiras – especificações técnicas do projeto de estruturas de concreto armado, 2008).

Sendo assim, quando houver falhas de concretagens, o recomendado é que as mesmas sejam tratadas e preenchidos os vazios deixados pela má vibração do concreto, a fim de evitar futuras manifestações patológicas e acelerar o processo de deterioração da estrutura.

3.3.3 Junta de concretagem

Foi observado também na junta de concretagem entre a ligação de apoio entre o balanço, que suporta as canaletas de coleta do efluente final, e a estrutura de tratamento, a presença de fissuras e o deslocamento do concreto, como mostra a Figura 29.

Figura 29 - Fissura na junta de concretagem



Fonte: Autoria própria

Tal fato pode ter ocorrido devido à entrada do gás carbônico e gás metano nos poros do concreto, possivelmente decorrentes de fissuras ou porosidade do mesmo, instigando assim a transformação dos compostos do cimento em carbonato, devido à perda de alcalinidade do concreto.

As manchas de coloração escura na face leste da estrutura caracterizam a presença de algas e fungos (Figura 29) desenvolvidos a partir de um ambiente

úmido. Tal fenômeno não prejudica a funcionalidade da estrutura, apenas aspectos estéticos.

3.3.4 Eflorescências

Foram observadas eflorescências tanto na parede externa da canaleta coletora do efluente tratado, do reator UASB 3 (Figura 30), como no caixa de distribuição de vazão 01 da estação de tratamento (Figura 31). Esse fenômeno se caracteriza pelo depósitos cristalinos de cor branca que surge na superfície do revestimento, e ocorre devido à evaporação de soluções aquosas salinizadas do interior do concreto endurecido. De acordo com Pinhal (2009), os depósitos acontecem quando os sais solúveis nos componentes da alvenaria e argamassa de emboço, são transportados pela água através dos poros da argamassa de revestimento. Esses sais em contato com o ar se solidificam, causando depósitos, que apresentam-se com uma “exsudação” na superfície, comprometendo apenas os aspectos relacionados à estética da estrutura.

Figura 30 - Eflorescências na parede externa no reator UASB



Fonte: Autoria própria

Figura 31 - Eflorescências na parede externa da caixa de distribuição de vazão 1



Fonte: Autoria própria

3.4 Vistoria interna da estrutura

A vistoria interna no reator p \hat{o} de ser feita apenas na laje superior, visto que o reator est \acute{a} em atividade e a entrada no mesmo \acute{e} impossibilitada.

Nos projetos do reator, foi previsto um flange (Figura 32) de entrada que permite o acesso no interior do UASB, para possibilitar inspe \c{c} oes e vistorias internas, quando o mesmo estiver totalmente esvaziado e pr \acute{o} prio para a entrada de pessoas no seu interior.

Figura 32 - Flange de aço



Fonte: Autoria própria

De acordo com o polimento que se deu para a realização do ensaio esclerométrico da laje superior do tanque, pode-se observar que a resistência mecânica do concreto da laje de cobertura se encontra em valores muito inferiores ao estipulado em projeto (30 MPa), visto que os resultados obtidos pelo ensaio esclerométrico foram os mínimos possíveis registrados pelo aparelho. Devido à ação das bactérias na formação do ácido sulfúrico, pode-se notar um estufamento e esfarelamento em toda a superfície interna da laje, provocada pelo ataque químico do ácido no concreto.

Durante a vistoria, o operador da estação de tratamento pode manualmente desagregar uma parte da laje de cobertura, a fim de confirmar a baixa resistência encontrada no elemento estrutural. A Figura 33 mostra as etapas da desagregação do concreto.

Figura 33 - Desagregação do concreto na laje de cobertura



Fonte: Autoria própria

3.5 Realização do ensaio

O objetivo inicial do trabalho não propunha a elaboração de ensaios de campo. No entanto, tendo em vista que o equipamento (esclerômetro de reflexão) estava disponível e sua utilização iria agregar dados ao trabalho, optou-se por sua execução.

Para a realização do ensaio de dureza superficial do concreto, foi utilizado o esclerômetro de reflexão. O aparelho não pode ser aferido conforme instruções da NBR 7584, devido à falta da bigorna para a calibração do equipamento, assim como não teve-se disponibilidade de adotar-se outro calibrador de referência. Dessa forma, ficam possíveis quaisquer alterações nos valores obtidos nestes ensaios.

O aparelho utilizado para o ensaio é do fabricante Controls-Group, Milano. A Figura 34 mostra o esclerômetro, junto da pedra polidora e a caixa de proteção.

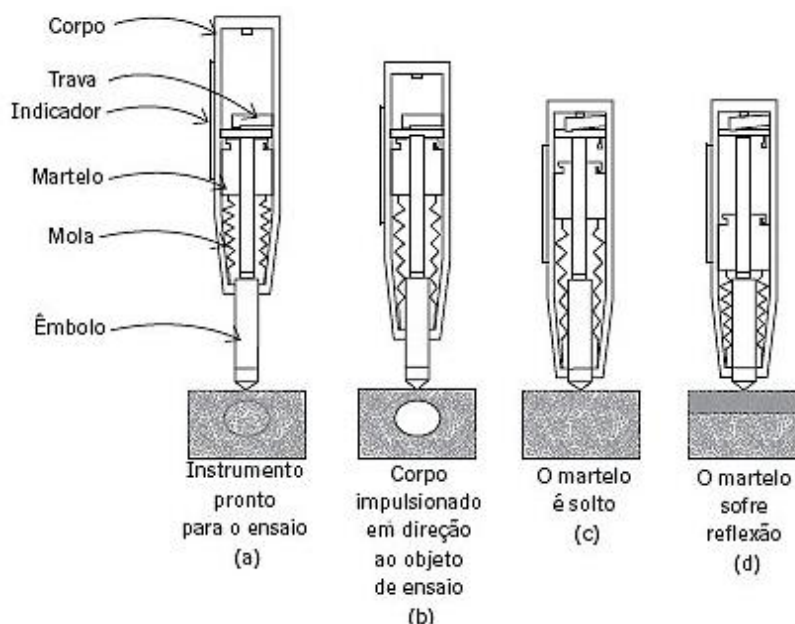
Figura 34 - Esclerômetro de reflexão



Fonte: Autoria própria

A Figura 35 descreve as partes internas constituintes do esclerômetro, como também o funcionamento do aparelho durante as medições.

Figura 35 - Ilustração da sequência de execução do ensaio de esclerometria



Fonte: Téchne (2009)

Os valores obtidos através do ensaio esclerométrico foram coletados em três regiões diferentes do reator UASB 3. A leitura do aparelho corresponde à medida da altura do rebote (na bigorna) que equivale ± 2 unidades-padrão da escala de martelo (Controls-Group, 2016).

Região 1: Centro da estrutura. Parede interior da canaleta central.

Não foi possível obter a área suficiente para a realização do ensaio conforme as instruções da NBR 7584, devido à pouca espessura da tampa do reator. Entretanto, foram amostrados três pontos aleatórios nessa região e o valor apresentado para ambos os pontos no leitor do esclerômetro foram menores que 10. A Figura 36 mostra a marcação dos pontos aleatórios em níveis intercalados, já a Figura 37 mostra a realização do ensaio sobre um dos pontos marcados.

Figura 36 - Marcação dos pontos na tampa superior do reator 3



Fonte: Autoria própria

Figura 37 - Realização do ensaio esclerométrico na região 1



Fonte: Autoria própria

Região 2: Lateral interna da estrutura. Parede coletora do efluente final.

O ensaio para a região 2 foi realizado de acordo com as orientações da norma. Utilizou-se uma pedra para polir a superfície em estudo e retirar os possíveis detritos que se encontrassem na região, a fim de minimizar as alterações dos resultados do ensaio. Em seguida, foram marcados com giz 16 pontos equidistantes à aproximadamente 3 cm uns dos outros, e então obtidos os valores de resistência superficial com o esclerômetro (Figura 38).

Figura 38 - Leitura dos valores do esclerômetro, na região 2 do reator



Fonte: Autoria própria

Os valores de resistência superficial do concreto que foram extraídos da região 2 do reator estão descritos respectivamente na Tabela 10.

Tabela 10 - Leitura inicial do esclerômetro na região 2

38	48	26	34
22	40	42	42
40	36	38	42
38	42	12	40

Fonte: Autoria própria

A região de onde foram extraídos os valores acima – galeria coletora do efluente final - não possui contato direto com os gases resultantes da decomposição anaeróbia no esgoto doméstico, apenas se esses forem lixiviados junto à saída do esgoto tratado. Os gases gerados nesse processo tendem a ficar concentrados apenas no centro do reator, quando considerando uma vedação ideal.

Na parte superior da canaleta (Figura 38), por onde o esgoto escoava, pode-se observar a coloração típica de concreto exposto, e os agregados já aparentes. Na parte central da figura (sobre o esgoto), observa-se a coloração típica de oxidação, sendo que, sobre esta camada superficial, já existe a formação de enxofre elementar, que dá sequência às reações de formação de ácido sulfúrico. (FORTUNATO et al, 2019)

Região 3: Lateral externa da estrutura, parede do reator na face externa.

Região sujeita aos ataques externos do ambiente, não possui contato com o esgoto. A Figura 39 mostra o polimento da superfície onde serão coletados os pontos para o ensaio e a marcação dos mesmos.

Figura 39 - Polimento e marcação dos pontos



Fonte: Autoria própria

Os valores de resistência superficial do concreto que foram extraídos da região 3 do reator estão descritos respectivamente na Tabela 11.

Tabela 11 - Leitura inicial do esclerômetro na região 3

32	40	28	36
34	30	38	32
44	42	32	32
26	38	30	30

Fonte: Autoria própria

4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DO ENSAIO

Os resultados obtidos através do ensaio esclerométrico descrito no item 3.6 do capítulo 3, foram dispostos na Tabela 12. De acordo com o manual de uso do fabricante Controls-Group (2016) o valor representado na tela do leitor do esclerômetro é a medida da altura do rebote ± 2 unidades-padrão da escala de martelo.

Tabela 12 - Leitura inicial do esclerômetro

Pontos	Elemento Estrutural		
	Região 1	Região 2	Região 3
1	≥ 10	38	32
2	≥ 10	48	40
3	≥ 10	26	28
4	-	34	36
5	-	22	34
6	-	40	30
7	-	42	38
8	-	42	32
9	-	40	44
10	-	36	42
11	-	38	32
12	-	42	32
13	-	38	26
14	-	42	38
15	-	12	30
16	-	40	30
Média I	10	36,3	34,0
Média II	0	36,8	33,2
I.E. Corrigido	1	1	1
Resistência	0	36,8	33,2

Fonte: Autoria própria

Média I – Cálculo da média aritmética dos valores obtidos.

Média II – desprezados os índices individuais que se afastaram 10% do valor médio obtido.

Fator de correção (FC) = 1 (adotado)

I.E. Corrigido – FC x Média II

A norma NBR 7584 preconiza que o índice final deve ser obtido com no mínimo cinco valores individuais, caso contrário, a área deve ser abandonada. Também é salientado que nenhum dos índices individuais restantes deve diferir em mais de 10% da média final.

Os valores representados na cor vermelha da Tabela 12 foram desconsiderados no cálculo da Média II, devido a não conformidade dentro dos limites inferiores e superiores de 10% com a Média I. Sendo assim, os valores de Média II ficaram dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma.

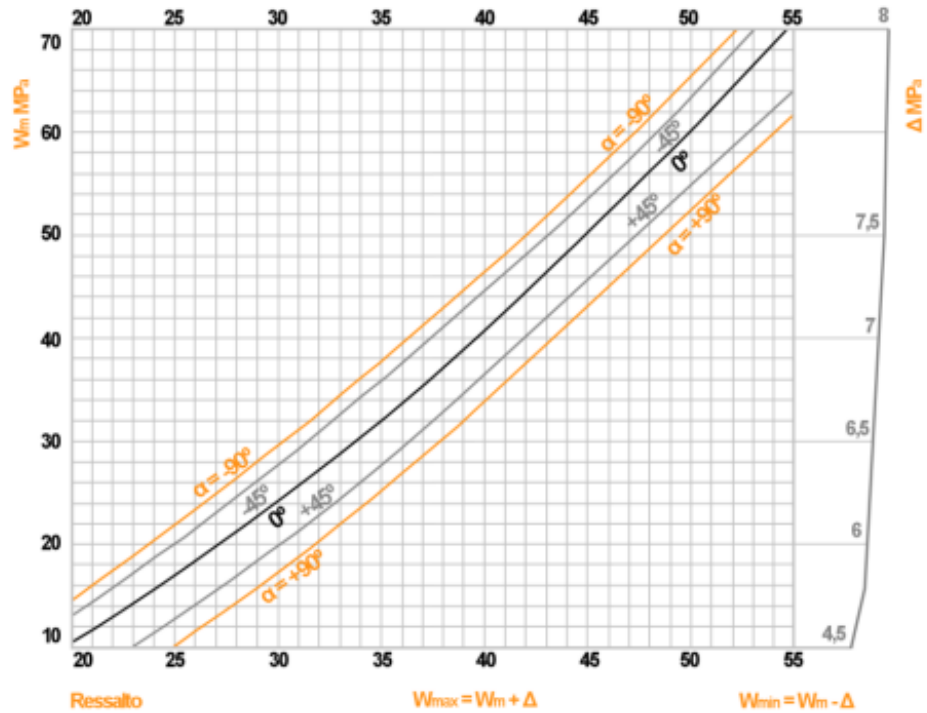
De acordo com a fórmula (1), o fator de correção é obtido pela multiplicação entre o coeficiente de correção (IE) e a média dos valores obtidos na aferição do esclerômetro (Média de aferição).

$$FC = IE \text{ fabricante} \times \text{Média de aferição} \quad (1)$$

O valor do coeficiente de correção (IE fabricante) é de 80. Devido à falta da bigorna para a calibração do esclerômetro, e conseqüentemente a falta dos valores para o cálculo da média de aferição, não foi possível calcular o fator de correção para o ensaio. Sendo assim, o valor adotado para o fator de correção (FC) foi igual a 1.

O esclerômetro utilizado durante as medições assumiu um ângulo de 0° junto com as faces ensaiadas. O valor de resistência calculada na Tabela 12 é aplicada ao Ábaco da Figura 40, sendo que o eixo das abcissas se refere ao valor da resistência, calculado com base nas leituras do esclerômetro e, ao interseccionar com a parábola de 0°, reflete no eixo das ordenadas o valor de resistência em MPa da região ensaiada.

Figura 40 - Ábaco de correlação



Fonte: Controls Group, (2019)

A Tabela 13 e Tabela 14 descrevem os valores de leitura obtidos em cada região do ensaio, quando aplicados a resistência de cada golpe de medição. É importante destacar que o cálculo da resistência efetiva final não se a partir da média entre as resistências, mas sim pela leitura do ábaco de correlação.

Tabela 13 - Resistência dos pontos obtidos na região 2

Ponto	Região 2		
	Leitura	Resistência (Kg/cm ²)	Resistência (MPa)
1	38	380	38
2	48	500	50
3	26	180	18
4	34	310	31
5	22	121	12,1
6	40	420	42
7	42	460	46
8	42	460	46
9	40	420	42
10	36	350	35
11	38	380	38
12	42	460	46
13	38	380	38

14	42	460	46
15	12	0	0
16	40	420	42
Média I	36,3	356,3	35,6
Média II	36,8	360,0	36,0
Resistência	33 MPa		

Fonte: Autoria própria

Tabela 14 - Resistência dos pontos obtidos na região 3

Ponto	Região 3		
	Leitura	Resistência (Kg/cm ²)	Resistência (MPa)
1	32	280	28
2	40	420	42
3	28	210	21
4	36	350	35
5	34	310	31
6	30	250	25
7	38	380	38
8	32	280	28
9	44	500	50
10	42	460	46
11	32	280	28
12	32	280	28
13	26	180	18
14	38	380	38
15	30	250	25
16	30	250	25
Média I	34,0	316,3	31,6
Média II	33,0	296,7	29,7
Resistência	26,5 MPa		

Fonte: Autoria própria

Os valores pertencentes às células preenchidas foram descartados dos cálculos, devido à não conformidade com os limites calculados. A resistência efetiva de cada região está descrita abaixo:

Região 1) Valor do índice esclerométrico médio efetivo (IEe) da região 1 do ensaio foi de: 0. Aplicando esse valor da no ábaco, temos que a resistência efetiva do elemento é de: **0 MPa**

Região 2) Valor do índice esclerométrico médio efetivo (IEe) da região 2 do ensaio foi de: 36,8. Aplicando esse valor da no ábaco, temos que a resistência efetiva do elemento é de: **33,0 MPa**

Região 3) Valor do índice esclerométrico médio efetivo (IEe) da região 3 do ensaio foi de: 33,2. Aplicando esse valor da no ábaco, temos que a resistência efetiva do elemento é de: **26,5 MPa**

A resistência estipulada de acordo com as especificações técnicas do projeto de estruturas de concreto armado da ETE Canasvieiras, para as estruturas de concreto, é de 30 MPa.

O ensaio esclerométrico mede apenas a dureza superficial do concreto, sendo possível que o valor de resistência nas regiões mais internas das peças ensaiadas seja diferente dos valores medidos. O golpe feito pelo aparelho de medição pode também ter sido refletido em lugares próximos ou muito próximos de materiais de maiores resistências que constituem o concreto armado, como os agregados do cimento e o aço da armadura, ainda mais quando o cobrimento mínimo exigido para a estrutura não está de acordo com o projeto, como visto no capítulo 3, no item 3.8.1.

Todos esses efeitos mencionados somados à falta de aferição do equipamento prejudicam não só a precisão na obtenção dos valores em campo, como também os cálculos conseguintes, tornado os valores da resistência obtidos através deste ensaio menos fieis ao real.

5 PROPOSTAS CORRETIVAS E PREVENTIVAS

Apesar de suas inúmeras vantagens e ampla utilização no tratamento de esgoto, os reatores UASB apresentam algumas limitações relacionadas à produção e emissões gasosas, resultantes do processo de digestão das bactérias fermentativas e sulfato digestoras, as quais são as principais responsáveis pela oxidação e deterioração do material constituinte desse meio de tratamento.

O controle das emissões gasosas e dos processos corrosivos por meio de medidas preventivas e/ou corretivas torna-se essencial para garantir a redução dos gastos com a manutenção e reparo das estruturas danificadas pela corrosão e conservar a vida útil de componentes responsáveis pelo tratamento de esgoto sanitário, além de garantir o bem-estar dos trabalhadores e residentes no entorno das ETE's.

5.1 Patologia diagnosticada em reatores UASB's da SANEPAR e métodos corretivos aplicados – análise comparatória

Foi observado que na estação de tratamento de esgoto de Santa Quitéria (Curitiba - PR), foi diagnosticado um problema similar nas ETE's em estudo. A estação possui vazão de tratamento de 500 litros de esgoto por segundo (consideravelmente alto em relação às ETE de Canasvieiras, Barra da lagoa, Lagoa da Conceição e Saco Grande que possuem vazão inferior à 156 L/s). O tratamento é do tipo anaeróbico, seguido de tratamento por flotação.

O ataque químico foi observado nas paredes internas do reator UASB que estão acima no nível do esgoto. A parede exposta ao ar atmosférico sofre corrosão por parte do gás sulfídrico que reage com o oxigênio e forma o ácido sulfúrico (H_2SO_4) esse, ataca o concreto e as armaduras, deixando-os expostos ainda mais à ação desse gás (Figura 41).

Figura 41 - Desagregação do concreto na parede interna no reator UASB e oxidação da armadura



Fonte: Autoria própria

Buscando-se identificar as soluções para os problemas similares aos das estações de tratamento de esgoto de Florianópolis, constatou-se, que a partir de estudos feitos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UFTPR) junto com a SANEPAR, a fim de frear o avanço das manifestações patológicas presentes no reator UASB na cidade de Curitiba, foram feitas intervenções na estrutura através da colocação de placas de fibra de vidro e membrana PEAD com o objetivo de evitar o contato da estrutura de concreto com o ácido sulfúrico. Através desse estudo, foi observado também que na parte submersa do tanque não há ataque ao concreto armado.

Apesar das intervenções feitas, constatou-se que as mesmas não trouxeram resultados muito significativos para esta patologia, visto que o problema perdura até hoje.

5.2 Intervenções a partir da substituição de materiais

O uso de materiais mais resistentes à ação dos gases resultantes da decomposição anaeróbia do esgoto doméstico se torna imprescindível para a obtenção de uma estrutura com maior durabilidade e eficiência. A substituição do

concreto armado para alguns elementos do reator UASB é de grande importância, principalmente para coberturas e sistemas de exaustão dos gases produzidos pelo mesmo, quando se visa uma maior durabilidade e conservação dessas estruturas.

Dessa forma, Chernicharo et al (2018) enfatizam alguns pontos referentes à utilização de diferentes tipos de materiais, como concreto, aço inoxidável, alumínio e materiais poliméricos e elastoméricos e suas aplicações, bem como suas vantagens e desvantagens para a construção do reator UASB, ou seja:

Concreto:

- Baixo custo e elevada capacidade de suportar cargas;
- Módulos pesados e espessos, o que dificulta acesso de operadores;
- Susceptível à corrosão e a necessidade de aplicar proteção anticorrosiva;
- Indicação: cobertura de reatores UASB; construção das unidades de tratamento dos gases residuais.

Alumínio:

- Elevado custo e boa capacidade de suportar esforços de tensão;
- São leves e facilitam o acesso de operadores;
- Possui boa resistência em atmosferas com H_2S , mas podem ser atacados pelo H_2SO_4 ;
- Indicação: confecção de elementos das coberturas (revestidos com epóxi) como dutos de transporte de gases.

Aço inoxidável:

- Elevado custo e boa capacidade de suportar esforços de tensão;
- São relativamente leves e facilitam o acesso de operadores;
- Elevada resistência à corrosão, aços inoxidáveis do tipo AISI 316;
- Indicação: confecção de todas as estruturas, devido à durabilidade do material.

Materiais poliméricos e elastoméricos:

- PVC, PEAD, PRFV, PP ou PPR, borracha.
- Elevado custo, baixo peso específico e elevada resistência à corrosão.
- Podem ser moldados em diversas formas.
- Indicação: tubos e conexões; cobertura de canais e tanques em geral.

Com o objetivo de minimizar os problemas de corrosão durante a coleta do biogás, os tubos e as conexões devem ser fabricados em aço inoxidável ou em plástico adequado. Devido à maior resistência à corrosão, é recomendada a utilização do aço AISI 316Ti (EN 1.4571) (CHERNICHARO et al, 2018). Tubos e conexões de polietileno de alta densidade (PEAD) são considerados adequados para a condução do biogás.

5.3 Intervenções preventivas no uso do concreto armado

O material mais aplicado na construção de reatores UASB é o concreto, dessa forma, é fundamental que o controle executivo do projeto seja seguido rigorosamente, a partir da produção de concreto com resistência química adequada, com baixa relação água/cimento, compactação rigorosa e cura apropriada, bem como a escolha de um cimento adequado (Portland Pozolânico), visando obter desta forma baixa taxa de absorção e permeabilidade.

A manutenção periódica dessas estruturas também é de suma importância para garantir que a vida útil prevista em projeto seja alcançada.

Outra forma de melhorar ou inibir os efeitos de degradação é por meio de isolamento da estrutura do meio corrosivo, através do uso de revestimentos resistentes a ácidos e pinturas. Desta forma, Fortunato et al (2019) enfatizam que a escolha de um revestimento adequado deve-se preocupar com as seguintes questões: inércia química diante dos agentes agressivos, propriedades físicas compatíveis com o substrato, permitindo acompanhar o encurtamento e a dilatação, resistência à abrasão apropriada, baixa permeabilidade, durabilidade, custo benefício e facilidade de aplicação.

Deve-se empregar o revestimento interno das estruturas para proteção anticorrosiva, principalmente nas regiões que ficam acima do nível do líquido. O

separador trifásico, por estar localizado na parte superior do reator, está mais exposto à corrosão, devendo, portanto, ser fabricado em material mais resistente, ou revestido com maior rigor (CHERNICHARO, 2007).

Uma das soluções que pode ser apontadas para o caso, é a pintura dos reatores com borracha clorada ou epóxi betuminoso, que constitui uma barreira química para as superfícies de concreto expostas em ambientes de média à alta agressividade, desta forma impede a ação do ácido sulfúrico sobre as paredes de concreto.

A borracha clorada apresenta o inconveniente da baixa resistência a ácidos graxos vegetais ou animais; já as epóxi betuminosas são mais resistentes, podendo ser aplicadas com espessuras maiores e menor número de demãos, bem como possui menor permeabilidade, comparada à borracha clorada, porém o preço da epóxi betuminosa é mais elevado, o que em certos casos pode inviabilizar sua aplicação (FORTUNATO et al, 2019, p. 7).

A utilização do concreto armado para a execução de estruturas destinadas ao tratamento de esgoto se dá por vários motivos, entre eles: sua grande versatilidade de assumir formas e geometrias distintas, suas características físicas e químicas, as altas resistência à compressão e a tração, mas, principalmente ao fator cultural com que esse tipo de material é empregado ao longo dos anos, pelo mundo. Embora as qualidades do concreto armado sejam muitas, é imprescindível que os devidos cuidados devam ser tomados durante sua execução, uma vez que, quando mau executado pode trazer severos problemas para a estrutura como um todo.

5.4 Alterações de projeto

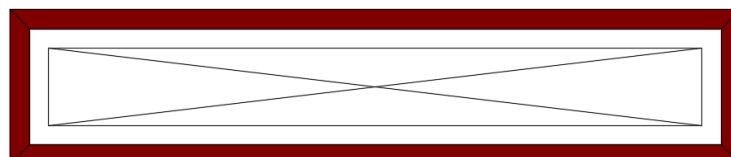
Mesmo após a aplicação de ações preventivas para evitar a ação dos gases sobre o concreto armado em reatores anaeróbios e dependendo das condições de formação dos gases, algumas modificações e alterações de projeto podem se tornar indispensáveis.

Como visto durante o desenvolvimento deste trabalho, espuma acumulada em reatores UASB é a principal responsável pela formação do gás metano, se tornando de grande importância as manutenções periódicas para a remoção da mesma.

Durante a etapa de projeto e operação do reator, é importante que sejam considerados:

- Inclusão de dispositivo para evitar o acúmulo desta espuma dentro dos separadores trifásicos dos reatores UASB (ex.: remoção hidrostática de espuma, que, segundo Santos (2014) baseia-se na alteração do nível d'água no interior do separador trifásico, de modo a possibilitar que a espuma verta para uma canaleta interna ao separador trifásico);
- Evitar quedas hidráulicas na coleta e condução do efluente tratado;
- Contenção das fontes emissoras, por meio de coberturas/galpões, dessa forma o problema seria parcialmente resolvido, uma vez que a cobertura evitaria a proliferação dos gases liberados das reações anaeróbias para os demais tipos de tratamento de toda a ETE, porém estariam igualmente em contato com os elementos de concreto armado do reator UASB;
- Captação/exaustão dos gases residuais gerados de forma eficiente;
- Projeto de reatores UASB com decantadores estanques a gases (ex.: tampas hermeticamente fechadas, adoção de técnicas de enclausuramento, previsão da impermeabilização de superfícies);
- Vetar a utilização de inserts metálicos na estrutura do reator, como guarda corpo, corrimão, tampas de inspeções e tubulações;
- Isolamento das tampas de inspeção da laje superior do reator com material poliméricos e/ou elastoméricos, a fim de se evitar ao máximo a saída de gases por orifícios presentes nesses elementos devido à corrosão do concreto (Figura 42).

Figura 42 – Borda da tampa de inspeção vedada com material polimérico



Fonte: Autoria própria

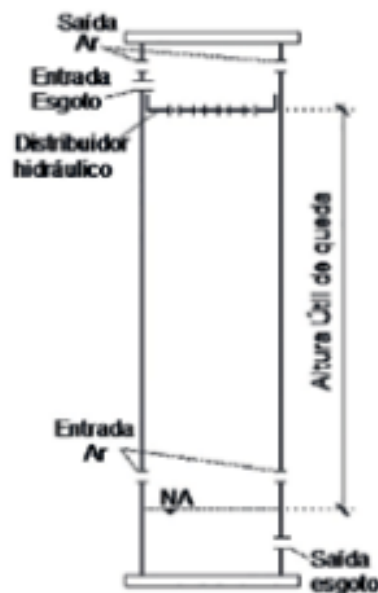
Outras soluções para aumentar a vida útil dos reatores UASB's que serão executados futuramente, Chernicharo et al (2018) destacam ainda duas técnicas de aperfeiçoamento de projeto descritas nos itens a seguir.

5.4.1 Dessorção dos gases

O processo que transfere a massa envolvendo a remoção de gases dissolvidos no efluente para um fluxo gasoso é denominado de dessorção (CHERNICHARO et al, 2018, p. 64). A presença de gases dissolvidos nos efluentes dos reatores UASB pode agravar muito os processos corrosivos nas ETE's. É possível minimizar a liberação de gases por meio da utilização de coberturas e da exaustão dos canais de efluentes.

A técnica da CD é baseada em mecanismos elementares de agitação da fase líquida no interior de uma estrutura fechada com fluxos d'água em queda livre e pressão interna igual à atmosférica. Um fluxo de gás (ar atmosférico) é aplicado no sentido oposto ao fluxo de esgoto, de forma a aumentar a taxa de transferência de massa entre as fases (CHERNICHARO et al, 2018, p. 64).

Figura 43 - Esquema de câmara de dessorção



Fonte: Chernicharo et al (2018)

5.4.2 Compartimentos de decantação e câmara de gás

Uma modificação do projeto original do reator UABS, sugerida por Chernicharo et al (2018) é o enclausuramento dos compartimentos de decantação e a interligação com a câmara de gás. De acordo com Chernicharo et al (2018) essa alternativa já foi experimentada em reatores UASB modificados e em RALFs no Estado do Paraná, sendo adotada com o objetivo de aumentar o volume de captação de biogás.

O autor ressalta que estudos se fazem necessários para confirmar a eficiência, bem como as vantagens e desvantagens inerentes a esta solução, uma vez que contrapõe ao conceito original dos reatores UASB clássicos, onde a interligação do compartimento de decantação com a câmara de gás não é admitida.

CONCLUSÃO

As emissões gasosas e a possibilidade de corrosão são inerentes ao uso de reatores UASB para o tratamento de esgoto sanitário, todavia, é possível a utilização de técnicas que atuem efetivamente na mitigação desses aspectos.

Diante do problema diagnosticado durante o desenvolver deste trabalho, ficou evidente que as estações de tratamento de esgoto apresentam uma elevada vulnerabilidade à agressividade em suas estruturas de concreto armado. Essas estruturas estão sujeitas não somente à ação de fenômenos naturais como a maresia e intempéries climáticas, mas também à ação do biogás – que tem em sua composição o Metano (CH_4), Dióxido de Carbono (CO_2) e outros gases em menores quantidades, como Ácido Sulfídrico (H_2S), Monóxido de Carbono (CO), Amônia (NH_3) e Hidrogênio (H_2) - produzido no interior do reator UASB. Esses gases, quando em contato com o concreto, permeiam seus vazios e reagem quimicamente com os compostos da pasta de cimento. Essas reações provocam a redução do pH em zonas distintas, e causam o estufamento da região atingida, logo, o cimento se desagrega dos demais componentes do concreto e deixa a estrutura susceptível e exposta à corrosão.

O baixo investimento nas especificações técnicas de projeto acompanhados de uma criteriosa especificação de materiais e técnicas executivas somado à falta de manutenção periódica, pode conduzir a uma significativa redução da vida útil da estrutura de concreto, conforme exposto a seguir:

- Um elevado fator água/cimento promoveria a obtenção de uma estrutura com maior porosidade/capilaridade devido à saída da água não associada quimicamente (água adicionada somente para fornecer trabalhabilidade ao material), facilitando a entrada de agentes agressivos no concreto;
- A vibração deficiente do concreto poderia resultar na obtenção de uma estrutura não homogênea, o que poderia facilitar a penetração de água e gases no interior deste material e, por conseguinte, o ataque e a oxidação da armadura. Observa-se que os produtos da corrosão ocupam no interior do

concreto volumes de 3 a 10 vezes o volume original do aço, originando tensões internas com valores superiores a 40 MPa (CÁNOVAS, 1988);

- Um inapropriado processo de cura produziria um concreto com a presença de fissuras devido à retração hidráulica. Estas, por sua vez, possibilitariam a penetração de água e gases e, novamente, o ataque e a oxidação da armadura;
- O uso do tipo inadequado de cimento reduziria a resistência do concreto aos ataques químicos provenientes dos agentes agressivos presentes neste meio;
- O controle de emissão gasosas também deve ser evitado, através da vedação das tampas de inspeção na laje superior e a canalização dos gases para o queimador de gás, uma vez que é o principal responsável pelas manifestações patológicas encontradas ao longo deste trabalho;
- O uso de materiais metálicos em elementos como: guarda-corpo, tampas de inspeção metálicas, corrimão e tubulações condutoras dos gases, deve ser prescindivelmente evitado uma vez que esse material é duramente atacado pelos gases gerados a partir da decomposição anaeróbia. O recomendado seria a substituição por outros materiais como: aço corten, pultrudado, fibra de vidro, e outros materiais poliméricos e elastoméricos, os quais apresentam maior resistência aos agentes químicos encontrados no meio.

Embora ainda não haja normas técnicas específicas para a execução de projetos e dimensionamento de estruturas hidráulicas em concreto armado, há disponível no meio técnico e científico informações suficientes para a utilização de diferentes métodos e especificações de projeto que visam a maior durabilidade e longa vida útil dos reatores anaeróbios do tipo UASB. Segundo Chernicharo et al (2018) esse fato, de certa forma é motivo de orgulho nacional e coloca o Brasil como um dos países mais maduros no uso da tecnologia anaeróbia de tratamento de esgoto.

Os problemas operacionais decorrentes das patologias manifestas nos reatores UASB's podem ser, no início, de pequena significância porém se não forem monitoradas e tomadas medidas de controle e mitigação dos danos, os mesmos

podem acarretar em danos ainda mais graves, que podem ir desde a perda de eficiência no tratamento do esgoto até uma interrupção da unidade, gerando transtornos não só para a concessionária que opera as estações de tratamento, mas principalmente para a população local e o meio ambiente. Os altos custos de remediação somado à agressividade do meio em que essas estruturas se encontram, exigem uma maior atenção quando se fala dos processos construtivos e a manutenção dessas unidades.

A utilização de materiais não apropriados para a execução dos reatores UASB's, muitas vezes segue sendo empregado pelo fator cultural que se tem tradicionalmente de sempre executar obras da mesma forma.

Visto que há tantos tipos de materiais e técnicas construtivas que estão disponíveis no meio técnico, muitas vezes por questões políticas de cada concessionária, não são adotadas as soluções técnicas mais adequadas para prevenir esse tipo de problema.

Tendo em vista os resultados deste trabalho, são feitas as seguintes sugestões para um estudo mais aprofundado do tema: é recomendável dar maior enfoque aos detalhes inerentes ao projeto de estrutura dos reatores UASB's, às técnicas construtivas empregadas durante a execução do mesmo e especificação mais minuciosa dos materiais a serem empregados neste tipo de construção; a realização de um ensaio com extração de corpo de prova também se faz importante, a fim de se obter uma análise mais detalhada e fiel ao que se encontra na estrutura de concreto armado do reator UASB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575**: Impermeabilização: seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2003. 13 p.
- ANDRADE, Walton Pacelli de. Personalidade entrevistada Walton Pacelli, **Revista IBRACON**, São Paulo, n° 4, p.10-12, agosto 2007.
- ARAÚJO, R. C. L.; RODRIGUES, E. H. V.; FREITAS, E. das G. A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: Seropédica, Editora Universidade Rural, 2000.
- ARCEIVALA, S.J. **Wastewater treatment and disposal. Engineering and ecology in pollution control**. New York, Marcel Dekker. 892 p. 1981.
- ARIVABENE, Antônio C. Patologias em estruturas de concreto armado. **Revista IPOG**, Vitória, p. 1-22, junho 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015. 22 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 221 p.
- BAIRD, C. **Environmental chemistry**. 2. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1998.
- CÁNOVAS, M. F. Patologia e Terapia do Concreto Armado. São Paulo, Pini, 1988.
- CEFET-MG. **Tratamento secundário de efluentes**. Disponível em: http://www.tecquimica.cefetmg.br/galerias/arquivos_download/Tratamento_Secundario_de_Efluentes_parte_1_-_Gisele_-_Cefet_2015.pdf. Acesso em: 26 de agosto de 2018
- CHAVES, Ronaldo; CALIXTO, José M.; RIBEIRO, Fausto; SILVA, Milva G. M.; COSTA, Cristiane P. F. Estruturas de concreto para obras de saneamento: a necessidade de normalização específica, **Revista IBRACON**, São Paulo, n° 4, p.32-34, agosto 2007.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2a ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.5).

CHERNICHARO, Carlos A. L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Reatores anaeróbios**; vol. 5. Belo Horizonte: UFMG, 246 p. 1997.

CHENICHARO, Carlos A. L. et al. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 4: Controle de corrosão e emissões gasosas; vol 66. **Revista DAE**, São Paulo, nº 214, p.56-72, novembro 2018.

CRUZ, A. D. **Avaliação do Biogás Produzido em Reatores UASB em Termos de Concentração de H₂S para Fins de Aproveitamento Energético**. Florianópolis. 2015. 79f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. 2015.

DANIEL, L.A. **Processos de desinfecção de desinfetantes alternativos na produção de água potável**. Rio de Janeiro, ABES. 155 p. 2001.

DEUBLEIN, D., STEINHAUSER; A. Biogas from waste and renewable resources, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008.

DUTRA, A. S.; BOFF, U.; MARQUES, A. S.; SCHAEFFER, L.; Estudo analisa o uso de aços estruturais resistentes à corrosão atmosférica, **Matéria Prima**, Porto Alegre, p. 86-93, janeiro 2013.

FILHO, Oswaldo R. S.; APURUÇO, Flávio R. P. Tecnologia e produção de concreto para obras de saneamento. **Revista IBRACON**, São Paulo, nº 4, p.48-51, agosto 2007.

FORTUNATO, B.M.; GOMES, C.S.; ANDREOLI, F.N.; AISSE, M.M. (1988). **Monitoramento de reatores anaeróbios tipo RALF. Relatório n. 5: Agressividade de sulfetos ao concreto dos RALFs**. Pontifca Universidade Católica do Paraná – Instituto de Saneamento Ambiental.

GOMES, Valtencir. **Patologia das estruturas de concreto**. Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/patologia-e-rec-de-estrutura/patologia-das-estruturas-de-concreto>>. Acesso em: 28 de outubro de 2018.

GUSS, Josiane. **Tratamento de esgoto, parte III**. Disponível em: <<http://www.josianeguss.com/2011/11/tratamento-de-esgoto-parte-iii.html>>. Acesso em: 26 de agosto de 2018

HELENE, Paulo R.L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 119 p. 1992.

HELENE, Paulo. Cura do concreto, **AEC web**. 2018. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/cura-do-concreto-conheca-cada-tecnica-suas-vantagens-e-cuidados_16242_10_0>. Acesso em: 21 de outubro de 2018.

HOPPE, J. Filho et al. Degradação do concreto de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) por ácido, **Revista ALCONPAT**, Yucatán - México, Vol. 4, nº 2, p.84-96, agosto 2014.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6ª edição. Rio de Janeiro: Fundo Editorial ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014. 827 p.

JORDÃO, Eduardo P. e PESSÔA, Constantino A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: ABES, 932 p. 1995.

KULISCH, Daniele. **Ataque por sulfatos em estruturas de concreto**. Curitiba. 2011. 109 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LARANJEIRAS, Antônio C. R. Armadura de retração em reservatórios **Revista IBRACON**, São Paulo, nº 4, p.57-60, agosto 2007.

LIMA, Ana Beatriz Barbosa Vinci. **Pós tratamento de efluente de reator anaeróbio em sistema sequencial constituído de ionização em processo biológico aeróbio**. 2006. 83 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2006.

MALHOTRA, V. M. e CARINO, J. Nicholas. **Handbook on Nondestructive Testing of Concrete**. 2 ed. CRC Press. 2003. 384 p.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, Paulo. **Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais**. 3 ed. São Paulo: Editora Ibracon, 2008. 199 p.

MOCKAITIS, G. **Redução de sulfato em biorreator operado em batelada e batelada alimentada sequenciais contendo biomassa granulada com agitação mecânica e “draft-tube”**. 2008. 348 f. Dissertação (Mestrado em engenharia hidráulica e saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

NEVILLE, A. D. M.; **Propriedades do Concreto**. 2 ed. São Paulo: Editora Pini, 1997. 828 p.

NUVOLARI, Ariovaldo. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte e reuso agrícola**. 2º Edição. São Paulo: Blucher. 565 p. 2011.

PIANCASTELLI, Élvio Mosci. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Ed. Departamento de Estruturas da EEUFMG – 1997.

PINTO, Jaques; TAKAGI, Emilio M. Sistemas de proteção e impermeabilização para obras de saneamento. **Revista IBRACON**, São Paulo, nº 4, p.73-79, agosto 2007.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO. PROSAB. **Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbico e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES. 464 p. 1999.

REIS, Ana P.; GALDINA, Milva; d'Ávila, Carlos A. C. Estação de tratamento de esgoto do Ribeirão Arrudas – aspectos de projeto e construtivos, **Revista IBRACON**, São Paulo, nº 4, p.39-45, agosto 2007

SANTOS, Aracele V. **Remoção, tratamento e valorização de espuma proveniente de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto doméstico**. Belo Horizonte. 2014. 134 f. Tese de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2014.

SOUZA, Alex L.; SILVA, Iago R. R.; CASTRO, Paulo H. M. **Retração térmica e fissuração em concreto por calor de hidratação**. Goiânia. 2014. 108 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**; vol. 1). Belo Horizonte: DESA-UFMG, 452 p. 2005.

TÉCHNE. Métodos de ensaios não destrutivos para estruturas de concreto. 2009. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/151/artigo286643-1.aspx>>. Acesso em: 14 de maio de 2019.

TECNOSIL. O que é e como ocorre a carbonatação do concreto. 2017. Disponível em: <<https://www.tecnosilbr.com.br/o-que-e-e-como-ocorre-a-carbonatacao-do-concreto/>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

THOMAZ, Eduardo. Fissuração em reservatórios, **Revista IBRACON**, São Paulo, nº 4, p.19-23, agosto 2007.

TUUTTI, Kyösti. **Corrosion of steel in concrete**. Stockholm, Swedish Cement and Concrete. Research Institute, 1982.