



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
CIVIL E AMBIENTAL**

VINÍCIUS TADEU DE SOUSA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE DISTINTAS POPULAÇÕES DE BACTÉRIAS
ATRAVÉS DE DIFERENTES CONDIÇÕES OPERACIONAIS EM SISTEMAS
DE LODO ATIVADO**

CAMPINA GRANDE – PB

JUNHO DE 2015

VINÍCIUS TADEU DE SOUSA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE DISTINTAS POPULAÇÕES DE BACTÉRIAS ATRAVÉS
DE DIFERENTES CONDIÇÕES OPERACIONAIS EM SISTEMAS DE LODO
ATIVADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre.

ÁREA: ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

SUBÁREA: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANITÁRIA

ORIENTADOR: PROF. ADRIANUS C. VAN HAANDEL

CAMPINA GRANDE – PB

JUNHO DE 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

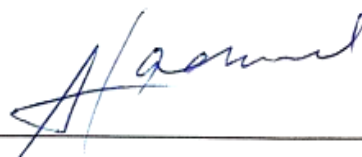
- S586d Silva, Vinícius Tadeu de Sousa.
Desenvolvimento de distintas populações de bactérias através de diferentes condições operacionais em sistemas de lodo ativado / Vinícius Tadeu de Sousa Silva. – Campina Grande, 2015.
117f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2015.
- "Orientação: Prof. Adrianus C. Van Haandel".
Referências.
1. Predominância de Bactérias. 2. Condições Operacionais.
3. Parâmetros Cinéticos e Estequiométricos. I. Van Haandel, Adrianus C. II. Título.
- CDU 628.355(043)

VINÍCIUS TADEU DE SOUSA SILVA

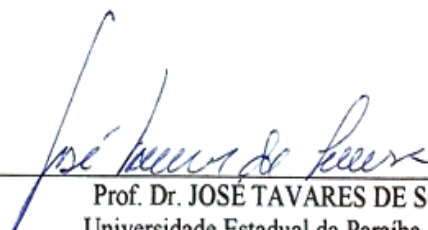
**DESENVOLVIMENTO DE DISTINTAS POPULAÇÕES DE BACTÉRIAS ATRAVÉS
DE DIFERENTES CONDIÇÕES OPERACIONAIS EM SISTEMAS DE LODO
ATIVADO**

Aprovado em: 26 / 06 / 2015

Examinadores:



ADRIANUS C. VAN HAANDEL – PhD.
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Orientador



Prof. Dr. JOSÉ TAVARES DE SOUSA
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB
(Examinador Externo)



Prof.ª Dr.ª MÔNICA DE AMORIM COURA
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
(Examinadora Interna)

CAMPINA GRANDE – PB

JUNHO DE 2015

“Imitamos de forma simplória mecanismos, processos, contextos da natureza, e nos esquecemos de que a mais bela e simples lição é que faz um aluno aprender. Temos por um minuto a sensação de poder ter, conquistar e dominar tudo, seguindo estratégias bem definidas com complexas definições arranjadas, de forma que a natureza se torna uma simples peça desse pensamento. Como vivemos iludidos, ao ponto de não entender a clara visão de uma criança para um futuro iminente, e perceber de forma súbita, que a natureza sempre será, um dos mais belos e teatrais atos de Deus”.

Vinícius Tadeu
Engenheiro Sanitarista e Ambiental

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que proporciona na minha vida. Hoje, agora e sempre;

Ao professor Adrianus C. Van Haandel, pela disposição em me orientar na elaboração deste trabalho, pela oportunidade de discorrer sobre o tema, pela consideração, confiança e cooperação durante todo o período de desenvolvimento do trabalho;

A meus amigos e familiares, que sempre acreditaram que eu seria capaz de alcançar mais esta vitória em minha vida, em especial meu pai Lindiovan Tadeu, a minha mãe Maria Rossana e a minha irmã Vanessa Taís, que sempre me deram força para seguir em frente;

A minha noiva Fernanda Muniz, que enfrentou ao meu lado grandes dificuldades, me ajudando e aconselhando durante todo o período de formação;

Ao grupo de pesquisa o qual fiz parte, na Estação Experimental de Tratamento de Esgotos Sanitários (EXTRABES), em especial Silvânia Lucas, João Paulo, Nélia Luna, Danikelly Damasceno, Silvia Raphaela, Heraldo Antunes, Elivânia Vasconcelos, Aluísio Gonçalves, Jéssyca de Freitas, Dayane de Andrade que tiveram ações diretas para realização e sucesso desta pesquisa;

À banca examinadora, Professor José Tavares de Sousa e a Professora Mônica de Amorim Coura, por aceitarem fazer parte da construção desse trabalho;

Aos funcionários e professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, pelo apoio, orientação, amizade, paciência e conhecimentos transmitidos, que certamente contribuíram para o meu desenvolvimento intelectual e formação profissional, em especial os professores Mônica de Amorim Coura (novamente), Rui de Oliveira e Beatriz Ceballos (UEPB), pela disposição e boa vontade que sempre tiveram em cada uma das ocasiões em que precisei;

Aos meus companheiros de mestrado, que trilharam essa árdua caminhada sem ceder diante dos desafios, e a CAPES pelo apoio financeiro.

A presença, o carinho e a cooperação de cada um que foram essenciais para esta conquista. Obrigada a todos!

SILVA, V. T. de S. **Desenvolvimento de distintas populações de bactérias através de diferentes condições operacionais em sistemas de lodo ativado**. Campina Grande. 2015.117 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, 2015.

RESUMO

Atualmente técnicas avançadas de tratamento biológico exigem estudos minuciosos dos organismos envolvidos e dos processos bioquímicos que ocorrem nos reatores, pois o desenvolvimento e otimização dos sistemas dependem muito de tais argumentos. O sistema de lodo ativado é um dos processos biológicos mais utilizados e difundidos no mundo, onde a comunidade bacteriana estabelecida neste sistema é de suma importância, sendo dinâmica e fundamental para a sua eficiência e o bom funcionamento. Nos dias atuais com o desenvolvimento da biologia molecular, diferentes organismos são apresentados para a comunidade científica como é o caso dos organismos acumuladores de glicogênio (GAO) e seres acumuladores de polifosfato (PAO), presentes frequentemente em sistemas de lodo ativado EBPR (*Enhanced biological phosphorus removal*) sendo tais, considerados competidores diretos. Entretanto, nem tudo está ainda elucidado referente ao papel desses organismos, dentro do meio presente nos sistemas de tratamento, exigindo da comunidade científica um melhor conhecimento e estudos sobre o caso. Parâmetros cinéticos e estequiométricos apresentam-se uma ferramenta forte para explicitar o metabolismo dos microrganismos presente em processos biológicos e subsidiarem ações para a determinação de contextos operacionais e projetos racionais. Dessa forma o presente trabalho tem o intuito de obter resultados concretos de parâmetros cinéticos e estequiométricos para caracterização de lodos produzidos com a predominância de diferentes bactérias (OHO, PAO, GAO), através de condições operacionais impostas em sistema de lodo ativado de batelada sequenciada (RBS). Os resultados obtidos na pesquisa apontam que não houve o estabelecimento concreto das populações bacterianas como planejado, porém em diferentes parâmetros houve indicações de predominância das bactérias OHO, GAO, PAO em seus respectivos reatores, sendo obtidas constantes desses lodos que podem ser consideradas como um parâmetro para estimativas de valores característicos de predominância dessas bactérias dentro do sistema de lodo ativado.

Palavras-chave: Predominância de bactérias. Condições operacionais. Parâmetros cinéticos e estequiométricos.

SILVA, V. T. de S. **Development of distinct bacterial populations by applying different operational conditions in activated sludges systems** Campina Grande. 2015. 117 p. Dissertation (Master) – Federal University of Campina Grande , 2015.

ABSTRACT

Currently advanced techniques of biological treatment require detailed knowledge of the organisms involved and biochemical processes occurring in the reactors, since the development and optimization of systems rely heavily on such arguments. The activated sludge system is one of the most widely used biological processes and widespread in the world, whose bacterial community established in this system is very important and dynamic and essential for its efficiency and its proper functioning. Nowadays, given the development of molecular biology, different organisms are presented to the scientific community, as is the case of glycogen accumulating organisms (GAO) and polyphosphate accumulators beings (PAO), often present in EBPR (Enhanced biological phosphorus removal) activated sludge systems, considered direct competitors. However, not everything has been elucidated regarding the role of these organisms within the medium present in treatment systems, requiring the scientific community to have a better knowledge and develop studies about the case. Kinetic and stoichiometric parameters constitute a strong tool to explain the metabolism of microorganisms present in biological processes and subsidize actions for the determination of operational contexts and rational designs. Therefore, this study aims to achieve concrete results of kinetic and stoichiometric parameters for characterization of sludge produced with the predominance of different bacteria (OHO, PAO, GAO), by the definition of operating conditions that allow this activity in an activated sludge system in sequenced batch mode (RBS). The results of this study indicate that there was no concrete establishment of bacterial populations as planned, but there were indications of predominance of bacteria OHO, GAO, PAO on different parameters, being possible to obtain constants of these sludge which can be considered as a parameter to estimate characteristic values that indicate the predominance of these bacteria in the activated sludge system.

Keywords: Predominance of bacteria; Operating conditions; Kinetic and stoichiometric parameters.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 2.0: Situações favoráveis e contrárias ao sistema de lodo ativado.	28
Tabela 2.1: Eficiências típicas do processo de lodos ativados.	28
Tabela 2.2: Comparação entre a tecnologia de Lodo Ativado e Filtração Biológica.	29
Tabela 2.3: Descrição do metabolismo bacteriano através de doadores e aceptores de elétrons, da fonte de carbono e dos produtos formados.	36
Tabela 2.4: Principais condições operacionais que influenciam na aclimatação do lodo em sistemas de lodo ativado (seletores biológicos).	37
Tabela 2.5: Classificação utilizada para os microrganismos presentes em lodos ativados.	40
Tabela 2.6: Microrganismos indicadores das condições operacionais.	40
Tabela 2.7: Resultados presentes na literatura das constantes analisadas na pesquisa	49

CAPÍTULO 3

Tabela 3.0: Parâmetros para a distinção dos reatores.....	52
Tabela 3.1: Fase que ocorre em um ciclo de funcionamento do R2.....	55
Tabela 3.2: Teores de fósforo e DQO de sistemas que predominam os PAOs.....	56
Tabela 3.3: Fases que ocorrem em um ciclo de funcionamento do R3 (1° Fase).....	57
Tabela 3.4: Fases que ocorrem em um ciclo de funcionamento do R3 (2° Fase).....	58
Tabela 3.5: Fases que ocorrem em um ciclo de funcionamento do R4 (1° Fase).....	60
Tabela 3.6: Fases que ocorrem em um ciclo de funcionamento do R4 (2° Fase).....	61
Tabela 3.7: Constantes de Sedimentabilidade.....	65
Tabela 3.8: Constantes Cinéticas.....	65
Tabela 3.9: Constantes Estequiométricas.....	65
Tabela 3.10: Testes físico-químicos que foram realizados na pesquisa.....	69

CAPÍTULO 4

Tabela 4.1: Valores de Temperatura e Vazões de entrada dos sistemas.....	72
Tabela 4.2: Níveis de pH e concentrações de OD dos sistemas.....	74
Tabela 4.3: Concentrações afluentes e efluentes de DQO nos sistemas.....	75
Tabela 4.5: Concentrações do nutriente Fósforo nos sistemas.....	77
Tabela 4.6: Concentrações de NTK e NH_4^+ nos sistemas.....	78
Tabela 4.7: Concentrações de nitrato e nitrito nos sistemas.....	79
Tabela 4.8: Balanço do Material Orgânico na 1° Fase dos reatores.....	82
Tabela 4.9: Balanço do Material Orgânico na 2° Fase dos reatores.....	82

Tabela 4.10: Referência dos dados do boxplot da produção de lodo dos sistemas	84
Tabela 4.11: Referência dos dados do boxplot para razão de SSV/SST dos sistemas.....	85
Tabela 4.12: Referência dos dados do boxplot para a constante Fcv dos sistemas	86
Tabela 4.13: Concentrações de SSV referente os dias do 1° teste de decaimento	87
Tabela 4.14: Níveis de temperatura apresentadas durante o 1° teste de decaimento	87
Tabela 4.15:Concentrações de SSV referente os dias do 2° teste de decaimento	88
Tabela 4.16: Níveis de temperatura apresentadas durante o 2° teste de decaimento	89
Tabela 4.17: Referência dos dados do boxplot para Fcat. e Fana dos sistemas	95
Tabela 4.18: Referência dos dados do boxplot para Y dos sistemas.....	96
Tabela 4.19: Referência dos dados do boxplot para Km, μ_{max} , Xa do R2.	97
Tabela 4.20: Referência dos dados do boxplot para relação $mgP_{liberado}/mgDQO_{sequestrada}$	100
Tabela 4.21: Referência dos dados do boxplot para os teores de fósforo dos sistemas	101
Tabela 4.22: Referência dos dados do boxplot das constantes de sedimentabilidade k e Vo ...	103
Tabela 4.23: Resumo das constantes referente aos distintos lodos encontrados no trabalho ..	107

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2.0: Sistema convencional de lodo ativado com fluxo contínuo	27
Figura 2.1: Representação esquemática de duas principais configurações do sistema de lodo ativado.....	30
Figura 2.2: Diferentes fatores que classificam o sistema de lodo ativado.	31
Figura 2.3: Representação esquemática dos ciclos operacionais de um reator RBS.	32
Figura 2.4: Desenho da formação dos tipos de floco de lodo ativado	34
Figura 2.5: Fotos microscópicas de organismos presentes em Sistema de Lodo Ativado	39
Figura 2.6: Fotos microscópicas de organismos presentes em Sistema de Lodo Ativado II.....	39
Figura 2.7: Variações dos componentes nas fases líquida e sólida (biomassa) dos organismos PAOs nas etapas anaeróbia e aeróbia.....	44
Figura 2.8: Metabolismo de organismos acumuladores de fósforo (PAO).....	45
Figura 2.9: Metabolismo de organismos acumuladores de polifato desnitrificantes (DPAO).....	45
Figura 2.10: Ilustração esquemática do respirômetro Beluga. (a) configuração para testes respirométricos com fluxo contínuo. (b) configuração para testes respirométricos em regime de bateladas	47
Figura 2.11: Teste padrão realizado pelo respirômetro Beluga	48

CAPÍTULO 3

Figura 3.0: Contexto geral das principais atividades realizadas no período de pesquisa.	50
Figura 3.1: Grupos de Bactérias avaliados dentro da pesquisa	51
Figura 3.2: Alimentação dos sistemas R2(OHO), R3(PAO) e R4(GAO).....	53
Figura 3.3: Componentes da Automação do sistema.	54
Figura 3.4: Representação visual e esquemática do sistema R2-OHO.....	55
Figura 3.5: Representação visual e esquemática do sistema R3-PAO (1° Fase)	57
Figura 3.6: Modificação estrutural do reator R3- PAO (2° FASE)	59
Figura 3.7: Representação visual e esquemática do sistema R4-GAO (1° Fase).....	60
Figura 3.8: Modificação estrutural do reator R4- GAO (2° FASE).....	61
Figura 3.9: Esquemática do teste de decaimento	64
Figura 3.10: Esquemática dos procedimentos que ocorrem em amostra de lodo no teste de biodesfosfatação	67
Figura 3.11: Parte estrutural utilizada nos testes de sedimentabilidade.....	68
Figura 3.12: Foto do microscópio invertido Colema NIB-100.....	70

CAPÍTULO 4

Figura 4.1: Teste para obtenção da TCOc do R3(PAOs) em sua 1° Fase.....	81
Figura 4.2: Gráfico em formato Boxplot da Produção de Lodo dos Sistemas.	84
Figura 4.3: Razão SSV/SST dos sistemas.....	85
Figura 4.4: Constante de Fcv (DQO do lodo / SSV) dos sistemas.....	86
Figura 4.5: Gráficos para obtenção da constante de decaimento no 1° teste	88
Figura 4.6: Gráficos para obtenção da constante de decaimento no 2° teste	89
Figura 4.7: Testes respirométricos comparativos entre as fases do R3- PAOs e R4-GAOs.	90
Figura 4.8: Teste respirométricos habituais encontrados no R2 – OHO.	91
Figura 4.9: Testes respirométricos habituais encontrados nas fases do R3- (PAOs)	92
Figura 4.10: Testes respirométricos habituais encontrados nas fases do R4- (GAOs)	93
Figura 4.11: Fração anabólica e catabólica dos sistemas	94
Figura 4.12: Coeficiente de rendimento (Y) dos sistemas.....	96
Figura 4.13: Valores das constantes de K_m , μ_{max} , X_a do R2.	97
Figura 4.14: Testes de biodesfosfatação habitual apresentado pelos sistemas.....	99
Figura 4.15: Valores da relação de $mgP_{liberado}/mgDQO_{sequestrada}$ para os sistemas	100
Figura 4.16: Teores de fósforo nos lodos dos sistemas	101
Figura 4.17: As diferentes colorações apresentadas pelos sistemas	102
Figura 4.18: Valores das constantes de sedimentabilidade k e V_o dos sistemas	103
Figura 4.19: Observações microbiológicas de flocos biológicos dos sistemas	105
Figura 4.20: Microrganismos encontrados nos sistemas	106
Figura 4.21: Visualizações microbiológicas do Lab. CERTBIO dos lodos dos sistemas	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADP	Adenosina Difosfato
Afl	Esgoto afluente aos sistemas de lodo ativado
AGV	Ácidos graxos voláteis
AMP	Adenosina Mono fosfato;
AOB	Bactérias oxidadoras de amônia
ATP	Adenosina Trifosfato.
A_{trap}	Área do trapézio (mg.O.L^{-1})
ATU	Aliltoluidina
b	Constante de decaimento bacteriana (d^{-1})
C	Carbono
CCT	Centro de Ciência e Tecnologia
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg.L^{-1})
DQO	Demanda Química de Oxigênio (mg.L^{-1})
DQO_{apl}	DQO aplicada nos testes respirométricos (mg.L^{-1})
EBPR	<i>Enhanced biological phosphorus removal</i>
Efl	Esgoto efluente aos sistemas de lodo ativado operados
EXTRABES	Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários
f_{cat}	Fração Catabolizada
f_{cv}	Razão DQO/SVS (mg.DQO.mgSVS^{-1})
FISH	Fluorescence In Situ Hybridization
GAO	Organismos acumuladores de glicogênio
k	Constante de compressibilidade (L.g^{-1})
K_m	Constante de utilização de material orgânico solúvel ($\text{mg.DQO.}(\text{mg.X}_a.\text{d})^{-1}$)
N	Nitrogênio
NH_4^+	Amônio

NOB	Bactérias oxidadoras de nitrito
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
OD	Concentração de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1})
OHO	Organismos heterotróficos ordinários
ONU	Organização das Nações Unidas
PAO	Organismos acumuladores de fósforo
PHA	Polihidroxialcanoatos
PHB	Polihidroxibutirato
pH	Potencial hidrogeniônico
Pós-D	Reator pós-desnitrificante, localizado após o reator aeróbio
Pré-D	Reator pré-desnitrificante, localizado anteriormente ao reator aeróbio
PROSAB	Programa de Saneamento Básico
PT	Concentração de fósforo total (mgP.L^{-1})
R2	Sistema de lodo ativado com predominância de OHO
R3	Sistema de lodo ativado com predominância de PAO
R4	Sistema de lodo ativado com predominância de GAO
s	Fator de recirculação (Q_r/Q_a)
SLA	Lodo Ativado
SST	Sólidos suspensos totais (mg.L^{-1})
SSV	Sólidos suspensos voláteis (mg.L^{-1})
S32c	Antigo software do respirômetro Beluga
S40c	Software com desvio padrão do respirômetro Beluga
S42c	Versão do software do respirômetro Beluga com desvio padrão utilizada
S44c	Atual software do respirômetro Beluga, mas não aplicável para essa pesquisa
T	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
TCO	Taxa de consumo de oxigênio ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$)
TCO _c	Taxa de consumo para oxidação de material orgânico ($\text{mgDQO.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$)

TCO_{end}	Taxa de consumo de oxigênio endógena ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$)
TCO_{exo}	Taxa de consumo de oxigênio exógena ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$)
$TCO_{\text{exo,max}}$	Taxa de consumo de oxigênio exógena máxima ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$)
TCO_{max}	Taxa de consumo de oxigênio máxima ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$)
TCO_{total}	Taxa de consumo de oxigênio total ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$)
UCT- R1	University of Cape Town
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
V_o	Velocidade não estorvada (m.h^{-1})
X_a	Concentração de Lodo Ativo (mg.L^{-1})
Y	Coefficiente de Rendimento (mg.SVS.mgDQO^{-1})
μ_{max}	Taxa de crescimento de microrganismos máxima (d^{-1})

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS	20
1.1.1 Objetivo Geral	20
1.1.2 Objetivos Específicos	20

CAPÍTULO 2

2. REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 A evolução do tratamento de águas residuárias	22
2.2 O tratamento de águas residuárias	24
2.3 Condições Operacionais nos Processos Biológicos	24
2.4 O Sistema de Lodo Ativado	26
2.4.1 Sistemas de Batelada Sequenciada – RBS	31
2.4.2 Condições operacionais e suas influências no Sistema de Lodo Ativado	33
2.4.3 Microorganismos presentes em Sistemas de Lodo Ativado	38
2.4.3.1 A remoção do material orgânico e os microorganismos envolvidos	41
2.4.3.2 A remoção biológica do fósforo e os microorganismos envolvidos	43
2.5 Respirometria	46

CAPÍTULO 3

3. MATERIAL E MÉTODOS	50
3.1 Introdução	50
3.2 Caracterização dos Sistemas	54
3.2.1 Reator com predominância de bactérias OHO – R2	54
3.2.2 Reator com predominância de bactérias PAO – R3 (1° Fase)	56
3.2.2.1 Reator com predominância de bactérias PAO – R3 (2° Fase)	58
3.2.3 Reator com predominância de bactérias GAO – R4 (1° Fase)	59
3.2.3.1 Reator com predominância de bactérias GAO – R4 (2° Fase)	60
3.3 MÉTODOS	62
3.3.1 Testes Respirométricos	66
3.3.2 Testes de Biorredoxação	66
3.3.3 Testes de Sedimentabilidade	67
3.3.4 Análises Físico-Químicas	68
3.3.5 Observações Microbiológicas	69

CAPÍTULO 4

<u>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	<u>71</u>
<u>4.1 Introdução</u>	<u>71</u>
<u>4.2 Desempenho dos Sistemas Operados</u>	<u>71</u>
<u>4.2.1 Balanço de massa do material orgânico dos sistemas</u>	<u>79</u>
<u>4.2.2 Produção de Lodo dos Sistemas</u>	<u>83</u>
<u>4.3 Razão de SSV/SST</u>	<u>84</u>
<u>4.4 Razão da DQO do Lodo e os Sólidos Suspensos Voláteis - F_{cv}</u>	<u>85</u>
<u>4.5 Teste de Decaimento Bacteriano</u>	<u>86</u>
<u>4.6 Testes Respirométricos</u>	<u>89</u>
<u>4.6.1 Fração catabólica e anabólica</u>	<u>94</u>
<u>4.6.2 Coeficiente de Rendimento (Y)</u>	<u>95</u>
<u>4.6.3 Constante de utilização (K_m), Concentração de lodo ativo (X_a) e Taxa de crescimento de microrganismos máxima (μ_{max})</u>	<u>96</u>
<u>4.7 Testes de Biorredução</u>	<u>98</u>
<u>4.7.1 Teor de fósforo no lodo</u>	<u>100</u>
<u>4.8 Testes de Sedimentabilidade</u>	<u>101</u>
<u>4.9 Observações Microscópicas</u>	<u>104</u>
<u>4.10 Tabela dos resultados encontrados no trabalho</u>	<u>107</u>

CAPÍTULO 5

<u>5. CONCLUSÕES</u>	<u>108</u>
<u>5.1 RECOMENDAÇÕES</u>	<u>109</u>

CAPÍTULO 6

<u>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>110</u>
--	------------

Capítulo 1

1. INTRODUÇÃO

Atualmente uma das questões mais discutidas no mundo são os efeitos da ação antrópica no meio em que vivemos. Os tempos modernos trouxeram consigo grandes evidências de que o mundo entrou em um curso que, se não for alterado, sofreremos com efeitos profundos e indesejáveis para a raça humana e para a Terra. A ação do homem sobre a natureza, sempre ocorreu, gerando frutos que foram fundamentais para evolução da espécie humana, mas gerando também problemas de cunho contínuo de degradação ambiental. Nas últimas décadas com o aumento populacional e a má gestão urbana e ambiental, estas ações vêm sendo realizadas com uma maior frequência e nem sempre de uma maneira responsável e sustentável, ocasionando impactos ambientais de grandes proporções.

A poluição ambiental é uma das principais causas da ação humana e do crescimento desordenado, provoca efeitos negativos no delicado equilíbrio da natureza, ocasionando assim, danos a saúde humana, a outros seres vivos e seus ecossistemas. Fenômenos como o aquecimento global, o crescimento dos níveis dos mares e o smog fotoquímico, provam que a poluição ambiental desconhece limites territoriais, sendo assim um problema comum de todos os habitantes de nosso planeta. Especificamente a poluição hídrica deve ser colocada em ênfase dentro da questão ambiental, pois envolve um recurso que nos últimos anos com escassez de chuvas e altas temperaturas atmosféricas, se tornou um bem continuamente escasso, a água.

Vivemos hoje uma situação onde a disponibilidade hídrica está em constante declínio e ao mesmo tempo a grande maioria dos recursos hídricos está sendo comprometida pela poluição doméstica, industrial, agrícola e por atividades humanas que promovem o desmatamento desenfreado e o uso inconsequente dos recursos florestais. Dessa forma é vital e fundamental o tratamento de águas residuárias e a boa gestão dos recursos hídricos para o futuro do nosso planeta.

O tratamento de águas residuárias sofreu grandes mudanças ao longo do tempo, no início do desenvolvimento dessas tecnologias em meado do século XX se tinha a preocupação de um tratamento mais simplificado que envolvia a remoção de matéria orgânica dissolvida, e sólidos sedimentáveis, mas decorrentes de problemas ambientais como a eutrofização, fenômeno causado por um excesso de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e que promove um número excessivo de algas em um corpo d'água, foi visto a necessidade de tecnologias mais

avançadas de remoção de nutrientes, em que se destaca o sistema de lodo ativado (BASSIN, 2012; VAN HAANDEL, MARAIS, 1999).

Junto com a necessidade de remoção de nutrientes foram encontradas populações bacterianas que não se desenvolvem em sistemas tradicionais de lodo ativado. Assim foram identificados grupos de bactérias específicas para remoção de nitrogênio (bactérias: nitrificadoras e nitrificadoras (SHARMA & AHLERT, 1976) Anammox (MULDER et al., 1995)), de remoção de fósforo (bactérias acumuladoras de fósforo, PAO (WENTZEL, 1988) e mais recentemente as bactérias acumuladoras de glicogênio, GAO (DE KREUK, 2004).

O sistema de lodo ativado é um dos processos biológicos mais amplamente utilizados no mundo para técnicas avançadas de tratamento de águas residuárias, cuja eficiência elevada no tratamento de diferentes efluentes já é bastante consolidada no meio científico. No Brasil e no mundo tais sistemas são utilizados no tratamento de esgoto doméstico e em processos industriais. O princípio desses reatores biológicos baseia-se na oxidação bioquímica dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos afluentes, mediada por uma população microbiana diversificada que atua no meio. A comunidade de bactérias estabelecida nesse sistema é dinâmica e fundamental ao tratamento, sendo que cada espécie tem sua importância para o bom funcionamento do sistema. A estrutura dessa comunidade está diretamente ligada às condições operacionais e com a qualidade e quantidade de afluente que alimenta o processo, de modo que uma avaliação microbiológica qualitativa do lodo é capaz de fornecer informações sobre o desempenho do reator e também a qualidade do seu efluente. (SANTOS, 2014).

A diversidade das populações bacterianas dentro dos sistemas de lodo ativado, ao longo do tempo foi cada vez mais sendo considerada, pois à medida que se estudava a biomassa presente, observava-se que determinadas bactérias apresentavam características morfológicas e biológicas diferentes e que contribuía positivamente na eficiência do tratamento (WENTZEL, 1988; BASSIN, 2012).

Marais e Ekama em 1976 propuseram um modelo que descreve quantitativamente a remoção do material orgânico de águas residuárias pelo lodo ativado. No entanto, tal modelo não contempla a diversidade do lodo, tendo uma definição mais geral sobre a biomassa formada dentro do reator. O mesmo modelo descreve ainda a atuação de uma população bacteriana autotrófica que atua na nitrificação: a oxidação de amônia para nitrato. Complementando estudos como estes, Van Haandel e Marais em 1981 mostraram que a

mesma população heterotrófica que remove material orgânico em ambiente aeróbio também atua em ambiente anóxico, ainda com taxa reduzida, usando nitrato como oxidante (VAN HAANDEL e MARAIS, 1981).

Wentzel em 1986 demonstrou em pesquisas que uma determinada população bacteriana chamada de organismos acumuladores de fósforo(OAF) ou em inglês *polyphosphate-accumulating organisms*(PAO) era responsável diretamente pela remoção biológica de fósforo em sistemas de lodo ativado com zonas ou períodos em que o lodo passava por um ambiente anaeróbio. O aspecto fundamental da remoção biológico de fósforo é a chamada absorção em excesso de P(fósforo) conhecido pelo termo em inglês “*luxury uptake*”(VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

Em 2004, De Kreuk e sua equipe demonstram em pesquisas a presença de um novo tipo de bactéria, os GAOS (*glycogen-accumulating organisms*). Essas pesquisas indicam que tais organismos interferem negativamente na eficiência do tratamento em sistemas de lodo ativado. Os GAOS são geralmente relacionados com a deterioração de sistemas de remoção biológica de fósforo, uma vez que eles competem com os PAOS (*polyphosphate-accumulating organisms*) pela matéria orgânica disponível, mas não contribuem para a remoção de fosfato. Estudos reportam que altas temperaturas favorecem o crescimento de GAO em detrimento ao de PAO, o que pode prejudicar plenamente sistemas de lodo ativado (EBPR) em regiões de clima quente (BASSIN et al, 2012.).

Com essa diversidade bacteriana documentada e os preceitos que envolvem o avanço da tecnologia de sistema de lodo ativado, esta dissertação tem o intuito de avançar na compreensão e aplicação de sistemas de tratamento de esgotos, através de um estudo cinético e estequiométrico de diferentes culturas bacterianas presentes em sistema de lodo ativado. Dessa forma foi imposta através de condições operacionais em reatores biológicos de bateladas sequenciada (RBS), a predominância de bactérias distintas como: bactérias heterotróficas “normais”(OHO), que usam material orgânico como substrato para síntese de nova massa celular, bactérias Poli-p(*polyphosphate-accumulating organisms*- PAO) que tem como particularidade incorporar fósforo em ambiente aeróbio, bactérias GAO(*glycogen-accumulating organisms*) que tem como particularidade consumir glicogênio em ambiente aeróbio, mas não são acumuladores de fósforo.

Atualmente têm se tido outra visão do tratamento de águas residuárias e notadamente referente à remoção de nitrogênio. A idéia consiste em incorporar o nitrogênio amoniacal na

massa bacteriana como nitrogênio orgânico em vez de destruí-lo pelos processos de nitrificação e desnitrificação. Esta opção tem duas vantagens importantes (1) nitrogênio amoniacal não é destruído e (2) uma massa bacteriana composta de proteína unicelular se torna disponível ao menos em princípio para uso na pecuária e a aquicultura. (MATASSA, et al., 2015). Em princípio todos os grupos de bactérias heterotróficas podem ser usados para esta finalidade. No presente trabalho procurou-se criar condições que favorecessem o desenvolvimento de grupos particulares de bactérias (OHO, PAO e GAO) e observar suas características através da caracterização do lodo, sendo um estudo inicial para indicar o grupo bacteriano mais susceptível para a produção de massa protéica unicelular.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Produzir lodos com colônias de bactérias predominantes em reatores distintos, de organismos acumuladores de fósforo (PAOs), organismos acumuladores de glicogênio (GAOs), bactérias heterotróficas normais (OHOs), em sistemas de lodo ativado (RBS) pela manipulação das condições operacionais, caracterizando a distinção de cada população através de testes respirométricos, sua cinética básica, estequiometria de utilização de material orgânico solúvel e constantes de sedimentabilidade dos lodos.

1.1.2 Objetivos Específicos

Determinação dos seguintes parâmetros:

1- Estequiometria:

- (a) Determinação da fração do substrato que é oxidado;
- (b) Determinação da proporção entre DQO e sólidos voláteis;
- (c) Determinação do coeficiente de rendimento;
- (d) Determinação da fração de fósforo no lodo;

- (e) Determinação da razão SVS/STS;
- (f) Razão DQO acumulada/fósforo liberado;
- (g) fração máxima de polifosfato liberado como ortofosfato.

2- Cinética:

- (a) Constante de utilização de material orgânico solúvel;
- (b) Constante de decaimento bacteriana.

3- Sedimentabilidade:

- (a) Constante de compressibilidade;
- (b) Constante de velocidade de sedimentação não estorvada.

Por fim com o intuito de um melhor entendimento dos processos biológicos, ressaltando os seus principais protagonistas, os microrganismos, esta dissertação esta dividida em 6 Capítulos, os quais apresentam uma contextualização de assuntos que abordam o tema, comparando com estudos atuais, através de citações e definições (Capítulo 2), metodologia e matérias utilizado para construção dessa pesquisa (Capítulo 3) resultados e discussões produzidos (Capítulo 4), tendo as suas conclusões e recomendações expostas no Capítulo 5 e suas referências bibliográficas no Capítulo 6.

Capítulo 2

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A evolução do tratamento de águas residuárias

O termo esgoto é usado para definir as águas servidas de atividades humanas e que por isso tem suas características naturais alteradas. O uso da água em determinadas atividades ocorre de diferentes maneiras e as características do esgoto gerado podem também ser distintas devido a isto. Em contextos gerais o esgoto é composto por 99,9 % de água, 0,1% de sólidos e uma diversidade de organismos vivos, tais como bactérias, vírus, vermes e protozoários. O esgoto tem uma complexidade para seu tratamento referente às suas características, não contrariando a necessidade de ser tratado, pois essa devida função proporciona a não eutrofização das águas superficiais e conservar o meio ambiente, garantido melhor qualidade de vida para população (SOUSA; LEITE, 2003).

Os primeiros sistemas de tratamento de esgotos comunitários foram construídos no fim do século XIX, com o simples objetivo de remover parte do material visível dos poluentes presentes nos esgotos: os sólidos sedimentáveis. O processo era simples através da sedimentação, caracterizando o tratamento primário. Logo no começo do século XX, sistemas eficientes e confiáveis de tratamento primário foram consolidados, como o conhecido tanque de Imhoff, mas em pouco tempo os estudiosos perceberam que essas unidades só podiam depurar parcialmente o esgoto, pois boa parte do material orgânico presente nas águas residuárias não eram sedimentáveis, estavam em uma forma dissolvida nessas águas. (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

Com o intuito de aumentar a eficiência do tratamento de águas residuárias, houve no decorrer das primeiras décadas do século XX o desenvolvimento do tratamento secundário, que objetivava uma remoção mais completa do material orgânico através de processos biológicos. Foi em busca de um sistema de tratamento eficiente de remoção biológica, que Lockett e Arden consolidaram em 1914 o sistema de lodo ativado. Estes pesquisadores observaram que a aeração de esgotos municipais resultava em uma remoção considerável de material orgânico e que simultaneamente, se formavam flocos macroscópicos de microorganismos que podiam ser separados da fase líquida através de sedimentação, obtendo-se assim um lodo biológico. Mas a grande contribuição desses pesquisadores foi provar em meio científico que a adição deste lodo a outra batelada de esgotos resultava numa aceleração

significante do processo de remoção de material orgânico. Este tipo de lodo biológico ficou conhecido como “lodo ativado” devido a sua capacidade de acelerar a remoção do material orgânico em águas residuárias (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999).

A remoção eficiente do material orgânico foi um grande avanço no tratamento de esgotos, mas na década de sessenta, estudos comprovaram que descargas com grandes quantidades de nutrientes (especificamente nitrogênio e fósforo), advindos de efluentes de sistemas municipais de tratamento, tendiam a causar serio desequilíbrio ecológico nos corpos d’água receptores (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999). Um dos fenômenos mais conhecido devido a estas atividades é o da eutrofização, que ocorre devido ao crescimento exacerbado da vida aquática, que pode se desenvolver graças a presenças de teores elevados de nutrientes. Ao longo de vários estudos referentes à descarga de nutrientes em ambientes aquáticos, percebeu-se também que a amônia livre, apresenta toxicidade para a vida aquática, causando uma grande mortalidade de peixes e outros organismos fundamentais para o ecossistema aquático, que o nitrito e nitrato estão relacionados à metemoglobinemia doença também conhecida como “síndrome do bebê azul” e que a presença de nitrito no meio ajuda na formação de nitrosaminas carcinogênicas (BASSIN, 2012).

Dessa forma, surgiu a necessidade do desenvolvimento de tecnologias eficientes na remoção de nutrientes em específico o nitrogênio e o fósforo elementos limitantes para principais causas da poluição ambiental. Em meados, da década de 70 diversos estudos foram relacionados à remoção biológica de nitrogênio, sendo possível sua remoção através de processos sequenciais de nitrificação e desnitrificação, podendo destacar estudos como o de Barth, Bremmer e Lewis em 1969, que observaram a eficiência de uma fonte externa de material orgânico em reatores biológicos para o processo de desnitrificação. Em 1990, Wentzel e sua equipe consolidam através de estudos o método de remoção de fósforo em reatores biológicos, processo biológico que retira este elemento do liquido através do descarte de lodo que acumula o fósforo devido às bactérias específicas existentes no meio (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999).

Nas ultimas décadas foram colocadas em ênfase os estudos do pós-tratamento de efluentes visando a inativação de microrganismos que possam causar danos a saúde humana, como por exemplo, estudos relacionados a desinfecção com cloro, desinfecção com radiação ultravioleta e desinfecção com o ozônio. Também é posto em destaque o estudo de técnicas avançadas de tratamento de águas residuárias que envolvam otimização dos sistemas.

2.2 O tratamento de águas residuárias

Segundo Garcez (1988), o tratamento de esgoto sanitário se faz necessário por três razões básicas: de ordem higiênica, econômica e estética. Referente à ordem higiênica, a necessidade de tratamento se torna básica pela descontaminação da água que servirá no abastecimento futuro; de ordem econômica o tratamento é importante pelo fato das valorizações das terras que estão à jusante do despejo final do esgoto, e por fim esteticamente para evitar maus cheiros e presença de materiais suspensos.

O tratamento de águas residuárias é uma necessidade coletiva integrada ao exercício dos direitos e deveres da cidadania sendo um direito do cidadão e um dever do estado. Os Sistemas de tratamento de águas servidas promovem processos artificiais de depuração, remoção de poluentes e adequação dos parâmetros das águas residuárias, de modo a torná-la própria para o lançamento e disposição final (NUNES, 2011), objetivando assim, remover poluentes, através de métodos que tem características: físicas, químicas e biológicas, devendo atender atualmente aos padrões de saúde e qualidade ambiental definidos na Resolução CONAMA nº 357/2005 e na Resolução CONAMA nº 430/2011 (SOUSA; LEITE, 2003). De acordo com a Resolução nº 430/2011, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, aos padrões e às exigências propostas pela a legislação.

Os processos biológicos de tratamento são uma das alternativas mais econômicas e eficientes para a degradação da matéria orgânica de efluentes biodegradáveis, sendo assim, uma das opções mais usadas e estudadas no mundo para o tratamento de águas residuárias.

2.3 Condições Operacionais nos Processos Biológicos

Os microorganismos desempenham papel importantíssimo na remoção do material orgânico e dos nutrientes em sistemas de tratamento, evitando seu lançamento no meio ambiente. De acordo com Bassin (2012) reatores biológicos promovem processos que ocorrem naturalmente no ambiente. Entretanto, uma vez que as condições de operação (concentração de lodo, pH, concentração de oxigênio dissolvido, temperatura e outros parâmetros) sejam bem controladas nesses sistemas, as taxas dos processos de degradação dos poluentes são aceleradas, quando comparados com as que ocorrem na natureza.

É fundamental para o desenvolvimento e otimização de sistemas de tratamento de águas residuárias o controle e condições operacionais adequadas, pois mudanças nas condições ambientais provenientes da composição do afluente do reator, ou mesmo da operação da estação, podem acarretar alterações na comunidade do lodo, influenciando assim nos

processos de biodegradação, podendo ocasionar a redução da qualidade do efluente tratado (MADONI et al, 1996). Além da possível redução da eficiência do reator, condições inadequadas interferem na diversidade do lodo, especialmente no sistema de lodo ativado, pois, a comunidade de bactérias estabelecida nesse sistema é dinâmica e fundamental ao tratamento, sendo que cada espécie tem sua importância dentro do processo biológico.

Pode-se destacar também que a biodegradação de determinadas substâncias está ligada diretamente com a diversidade de microorganismos presentes no meio, como confirma Sant'Anna Jr(2010), afirmando que a biodegradação de poluentes presentes nas águas servidas, se fará de modo mais rápido e efetivo se, na comunidade microbiana estiverem presentes diferentes linhagens com afinidades diferenciadas por determinados poluentes. A natureza da microfauna presente em sistema de lodo ativado é característica da idade do lodo, do nível de qualidade do efluente, da quantidade de matéria orgânica biodegradável, da toxicidade do efluente e etc. (CETESB, 1992 e JENKINS et al., 2003).

Um dos fenômenos que pode explicar o que os microorganismos vivenciam dentro dos sistemas, através de condições operacionais estabelecidas, é o processo que vários especialistas chamam de *aclimatação*, que se trata da capacidade do lodo de se adaptar as condições impostas a ele, ocorrendo um processo de seleção natural onde os organismos que não se adaptam perecem e organismos que conseguem se adaptar se multiplicam. Em tratamento de resíduos industriais a adaptação do lodo é fundamental para a degradação de poluentes específicos, dessa forma, a capacidade de degradação do sistema de lodos ativados para o tratamento de efluentes específicos pode ser aumentada se o inóculo for adaptado (NAKAMURA et al., 2005). O tempo necessário para que a adaptação ocorra depende da fonte de biomassa utilizada, temperatura, pH, concentração de oxigênio dissolvido, idade do lodo e do tipo de substrato utilizado (RIBEIRO et al. , 2009).

Dentro do desenvolvimento de técnicas avançadas de tratamento, os estudos de condições operacionais para a prevalência de organismos, se sobressai, pois o entendimento das funções e atividades dos microrganismos dentro de reatores biológicos ajudam no avanço e otimização das tecnologias. É possível destacar que dentro do sistema de lodo ativado organismos possuem uma determinada finalidade no controle operacional do processo, como, as bactérias filamentosas que são importantes na formação da base estrutural do floco, mas que devem ter um controle efetivo no crescimento para evitar o intumescimento de lodo, a presença de fungos no processo de lodos ativados, que está associada ao pH baixo; à concentrações elevadas de carboidratos e à deficiência de nutrientes, os protozoários são

essenciais na formação dos flocos e na clarificação do efluente final (CUTOLO; ROCHA, 2000).

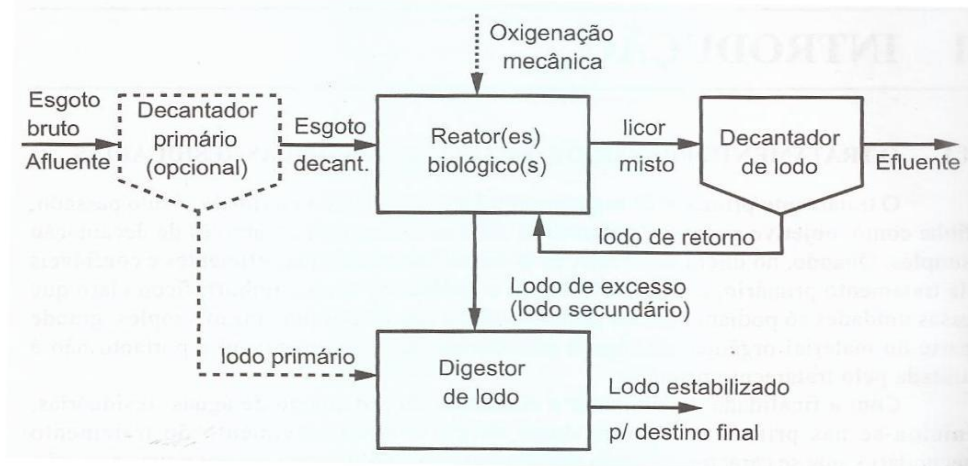
2.4 O Sistema de Lodo Ativado

Dentro de um extenso arcabouço de tecnologias voltadas para o tratamento de águas residuárias, que podem ser categorizadas em processos químicos, físicos e biológicos, podemos destacar os processos biológicos devido à sua viabilidade comprovada e seu grande desenvolvimento em estudos nos últimos anos. É comum em estudos de processos biológicos a verticalização em duas vertentes: tratamento biológico anaeróbio e tratamento biológico aeróbio, esta divisão é referente ao ambiente fornecido para o metabolismo das comunidades biológicas envolvidas.

O tratamento aeróbio pode ser posto em ênfase, devido à indução de processos de remoção de nitrogênio e fósforo que exigem a presença de oxigênio dissolvido e também pela sua grande versatilidade no tratamento de efluentes domésticos e indústrias (FILHO, 2014). Um dos tratamentos aeróbios mais difundidos em nível mundial é o sistema de lodo ativado que é utilizado para o tratamento de despejos domésticos e industriais. Este sistema se destaca pela elevada qualidade do efluente proporcionando à remoção biológica de nutrientes em reduzidos requisitos de área (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999; VON SPERLING, 2007).

O sistema de “Lodo Ativado” teve suas bases consolidadas por Ardern e Lockett em 1914, que em suas pesquisas defenderam o princípio do lodo biológico ser preservado no processo de tratamento ao invés de ser descartado, garantindo assim uma aceleração notável no processo de remoção de material orgânico tendo um crescimento adicional do lodo (JORDÃO; PESSÔA, 2009; VAN HAANDEL, 1999). Em 1915, ocorreu um grande desenvolvimento do sistema, Ardern e Lockett apresentaram em trabalhos de cunho científico a operação contínua desse tratamento como demonstrado na figura 2.0, que também ressalta aspectos atuais como o nível de aeração, o impacto de despejos industriais e a aclimação da biomassa (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Figura 2.0: Sistema convencional de lodo ativado com fluxo contínuo



Fonte: Van Haandel (1999).

A operação de fluxo contínuo apresentou uma grande evolução para o tratamento, este tipo de reator opera com sua capacidade tomada por uma mistura de água residuária e uma biomassa ativa. Os flocos de lodos formados no tanque são mantidos em suspensão através da agitação provocada pelo sistema de aeração, a entrada contínua de afluente causa uma descarga contínua da mistura (licor misto) para o decantador, onde haverá a separação da fase sólida e líquida. O efluente é descarregado para fora do sistema e parte do lodo é retornado para o reator biológico. Devido ao crescimento adicional dos microrganismos decorrente do acúmulo de lodo no reator deve-se ter uma descarga proposital de lodo ativo, para evitar uma concentração elevada dessa massa biológica e que comprometeria o bom funcionamento do sistema. Este lodo de excesso retirado deve passar por um adequado tratamento e disposição final; na prática o lodo de excesso pode ser submetido a um processo biológico de estabilização, removendo sua grande fração de água, obtendo um produto final sólido ou semi-sólido, que pode ser usado na agricultura, ser enterrado ou incinerado (VAN HAANDEL, 1999).

Em meados de 1950, pesquisas reconheceram a importância da retirada desse lodo de excesso controlada, apresentando modelos que indicavam o conceito de idade de lodo que foi definido como a razão entre a massa de lodo presente no sistema e a taxa de descarga de lodo de excesso, como um dos parâmetros operacionais mais importantes do sistema de lodo ativado. Nesta mesma época, percebeu-se também o processo adicional ao da remoção de material orgânico, a nitrificação, que trata da oxidação da amônia a nitrato. Estudos relevaram

que a demanda de oxigênio para a nitrificação em águas residuárias municipais era aproximadamente metade daquela para a remoção do material orgânico, tornando o processo de nitrificação completamente viável para a tecnologia de sistema de lodo ativado, porém, seria necessário aumentar a idade de lodo dos sistemas, pois o crescimento das bactérias responsáveis pela oxidação da amônia é lento, implicando na necessidade de um tempo de permanência maior do lodo dentro do reator (VAN HAANDEL, 1999).

Em termos conceituais os sistemas de lodo ativado podem ser definidos como um processo biológico, no qual o esgoto afluente e o lodo ativado são diretamente misturados, agitados e aerados, para logo após poderem ser separados por um processo físico de sedimentação, sendo o efluente retirado do sistema e boa parte do lodo presente retornando para o processo (VON SPERLING, 1997; JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Como qualquer outro processo fundamentado em teorias científicas é importante avaliar as vantagens e desvantagens de implementação deste tratamento, como é demonstrado a seguir nas tabelas 2.0, 2.1, e 2.2.

Tabela 2.0: Situações favoráveis e contrárias ao sistema de lodo ativado.

Vantagens	Desvantagens
Grande eficiência no tratamento;	Operação onerosa;
Trata resíduos indústrias;	Necessidade de completo controle de laboratório;
Maior flexibilidade de operação;	Custo maior de operação quando comparado a outros processos;
Menor área ocupada, por exemplo quando comparada à filtros biológicos.	Ter que tratar um percentual considerável de lodo de excesso.

Fonte: Pacheco; Pessôa (2009), Von Sperling (1997), Van Haandel (1999).

Tabela 2.1: Eficiências típicas do processo de lodos ativados.

Característica	DBO	SS
Efluente típico, mg/l	20 - 30	20 - 30
Remoção típica, %	85 - 95	85 - 95

Fonte: Pacheco; Pessôa (2009).

Tabela 2.2: Comparação entre a tecnologia de Lodo Ativado e Filtração Biológica.

Processo	DBO aplicada (*) g/m ³ .d	População equivalente hab./m ³
Filtração Biológica		
- de baixa capacidade	175	5
- de alta capacidade	875	25
Lodos Ativados		
- de baixa capacidade	1800	50
- de alta capacidade	3600	100

(*) por m³ de filtro biológico ou tanque de aeração

Fonte: Pacheco; Pessôa (2009).

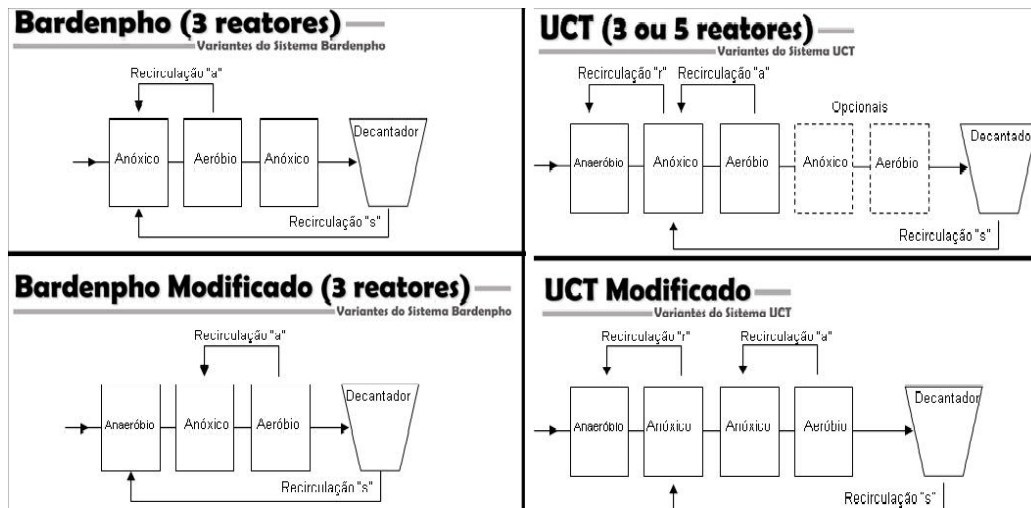
Quanto aos custos de implantação, manutenção, mecanização e geração de lodo, os valores do sistema de lodo ativado são elevados, implicando em desvantagens como pode ser visto na tabela 2.0, mas boa parte desses problemas podem ser mitigados por otimização da operação e manutenção (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999). Para demonstrar as vantagens do sistema diversos autores citam a flexibilidade dessa tecnologia, pois com o desenvolvimento de estudos tendo o foco o sistema de lodo ativado pode-se observar que com a variação no objetivo do tratamento, novas unidades poderiam ser incorporadas, como a inserção de um decantador primário presente em sistemas convencionais (ilustrado na figura 2.0), a adição de unidades de tratamento com zonas anóxicas ou anaeróbias, mais unidades que promovam a recirculação de lodo ou licor misto, dentre outras (SANTOS, 2014).

Dentro de um gama de configurações do sistema apresentado, além da classificação básica visando uma remoção efetiva de material orgânico, podemos destacar os projetos que visam a remoção potencial de macro nutrientes nitrogenados e fosfatados (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999), podendo serem enfatizadas as configurações com pré e pós desnitrificação, que visam a remoção máxima de nitrogênio via o processo de desnitrificação precedida pela nitrificação; outros sistemas que merecem serem frisados são os projetos que têm em sua operação zonas anaeróbias no começo do sistema visando a remoção biológica de fósforo (SILVA FILHO, 2014).

Um dos sistemas mais estudado e usual é o tipo Bardenpho que difere dos sistemas de operações convencionais de lodo ativado, por ser projetado para remover além da matéria orgânica, macronutrientes como o nitrogênio e fósforo (VAN HAANDEL; VAN DER LUBBE, 2012). Configurações como o pré-D e o pós-D, visam à remoção de nitrogênio em uma de suas vertentes, tendo uma configuração desenvolvida, conhecido como Bardenpho Modificado, cujo objetivo era intensificar a remoção de fósforo, isso através da substituição do reator anóxico preliminar por um reator anaeróbio em sua operação. Outro sistema bem

difundido é conhecido como *University of Cape Town (UCT)*, que foi desenvolvido para remover simultaneamente o nitrogênio e o fósforo, levando em consideração critérios apresentados no sistema Bardenpho, mas se destacando por sua maior estabilidade operacional. O UCT tem preliminarmente um reator anaeróbio similar ao sistema Bardenpho Modificado, mas com um pequeno diferencial quanto às direções das recirculações do licor misto dentro do sistema, onde cria-se uma situação na zona anóxica que a concentração de nitrato é mantida baixa através de um controle da taxa de recirculação “a”, de tal maneira que o nitrato disponível para desnitrificação na zona anóxica se iguala à capacidade de desnitrificação. Esses dois principais sistemas são ilustrados na figura 2.1 com suas respectivas diferenças (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999; SANTOS, 2014).

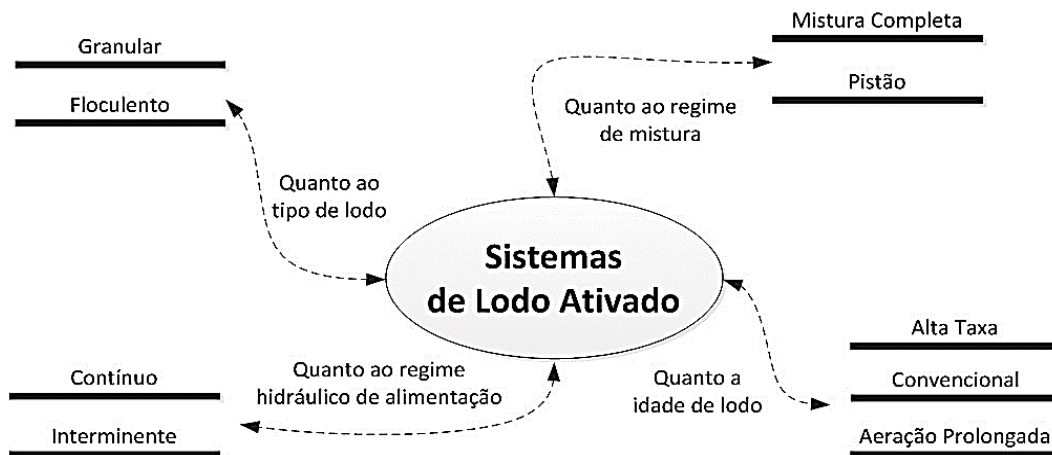
Figura 2.1: Representação esquemática de duas principais configurações do sistema de lodo ativado.



Fonte: Santos, 2014; Silva Filho, 2009.

Ao longo do tempo surgiram diversas outras variantes do sistema de modo que atualmente podemos classificar os sistemas de lodo ativado quanto a diferentes fatores: quanto ao regime hidráulico de alimentação (fluxo contínuo e intermitente); quanto ao regime de mistura (mistura completa e fluxo em pistão); quanto a idade de lodo definindo sistemas de alta taxa e de aeração prolongada e quanto a morfologia do lodo, estabelecendo sistemas com lodo floculento e lodo granular. A figura 2.2 ilustra bem esses diferentes fatores que classificam o sistema (SILVA FILHO, 2014; VAN HAANDEL; VAN DER LUBBE, 2012).

Figura 2.2: Diferentes fatores que classificam o sistema de lodo ativado.



Fonte: Silva Filho, 2014.

2.4.1 Sistemas de Batelada Sequenciada – RBS

O princípio do funcionamento dos sistemas de bateladas sequenciadas consiste na incorporação dos processos e operação de decantação primária, oxidação biológica e decantação secundária, em um único tanque, sendo este processo sequenciado pelo tempo e não pelas unidades operacionais como ocorre nos processos convencionais de fluxo contínuo, com o objetivo de alcançar em alguns casos a remoção de nutrientes através de zonas anaeróbias, aeróbias e anóxicas em sua operação (SANTOS, 2014; VON SPERLING, 1997). Os sistemas RBS podem ser implementados em uma reduzida escala ou em tanques já existentes, garantido assim, custos significativamente menores quando comparado aos sistemas convencionais, em termos operacionais o tratamento é feito de forma coexistente em um único reator, permitindo adaptações simples no seu funcionamento e a automação dos processos envolvidos (PAULA, 2014).

De acordo com Von Sperling (2002) o sistema intermitente promove uma mistura completa, onde ocorrem todas as etapas do tratamento, e isto é possível devido ao estabelecimento de ciclos de operação com durações predefinidas, em que a massa de lodo ativado permanece no reator, eliminando a necessidade de decantadores separados e das elevatórias de recirculação de lodo. Os ciclos que ocorre nesse sistema podem ser definidos com as seguintes fases:

- Enchimento - Entrada do afluente no reator. Os aeradores podem estar ligados ou desligados;
- Reação – Momento que ocorre grande parte dos processos bioquímicos de tratamento, a aeração promove o contato do lodo com o líquido. (Mistura no reator);
- Sedimentação – Nesta fase ocorre o fenômeno físico de sedimentação, com isso a separação de sólido e líquido. A aeração deve esta desligada;
- Esvaziamento ou retirada do sobrenadante – Retirada do liquido tratado do reator. A aeração deverá está desligada;

Figura 2.3: Representação esquemática dos ciclos operacionais de um reator RBS.



Fonte: Von Sperling, 1997; Oliveira, 2014;

Como qualquer outra tecnologia de tratamento os sistemas de fluxo intermitente possuem suas desvantagens. Segundo Barbosa (2009) pode ser destacadas duas desvantagens dos RBS: (1) Custos superiores com sistema de aeração, pois requerem uma maior capacidade de transferência de oxigênio, (2) A inexistência de equacionamento padronizado para o projeto e operação desse tipo de sistema. O desconhecimento dessas características faz com que alguns projetistas errem em critérios relacionadas a essas desvantagens, ocasionando muitas vezes, maiores gastos do que os necessários na implementação e operação desses sistemas (SILVA FILHO, 2014).

2.4.2 Condições operacionais e suas influências no Sistema de Lodo Ativado

Os principais responsáveis pelo tratamento no processo biológico são os microorganismos, e como já explicitado condições operacionais e ambientais podem promover alterações na comunidade do lodo, influenciando assim nos processos de biodegradação que ocorrem no reator. As condições operacionais podem ocasionar uma redução da qualidade do efluente tratado e também promover um desequilíbrio indesejável de comunidades bacterianas no sistema, como é o caso frequente em sistema de lodo ativado com o intumescimento do lodo (“bulking”). Os sistemas de lodo ativado têm sua grande efetividade e versatilidade, devido principalmente a sua diversidade biológica e como estudos afirmam a comunidade de microrganismos sofre influência direta das condições operacionais estabelecidas, demonstrando assim a necessidade e a importância de estudos concretos e especializados na compreensão da influência de parâmetros como concentração de oxigênio dissolvido, temperatura, pH, dentre outros, para o processo de aclimação do lodo.

A compreensão de um desequilíbrio de comunidades bacterianas dentro do sistema é alvo de diversos estudos ao longo dos últimos anos, podendo destacar aqueles que enfatizam as populações componentes da formação do floco de lodo ativado. De acordo com Von Sperling (2002) o floco de lodo ativado de uma forma simplificada pode ser composto de:

- *Bactérias formadoras de floco*: Este tipo de bactéria possui uma matriz gelatinosa que promove a aglomeração de novos microrganismos, favorecendo a formação de um floco de maiores dimensões, que conseqüentemente terá uma velocidade de sedimentação maior;
- *Bactérias filamentosas*: Este tipo de bactéria tem uma morfologia alongada e quando em número adequado são responsáveis pela estruturação do floco.

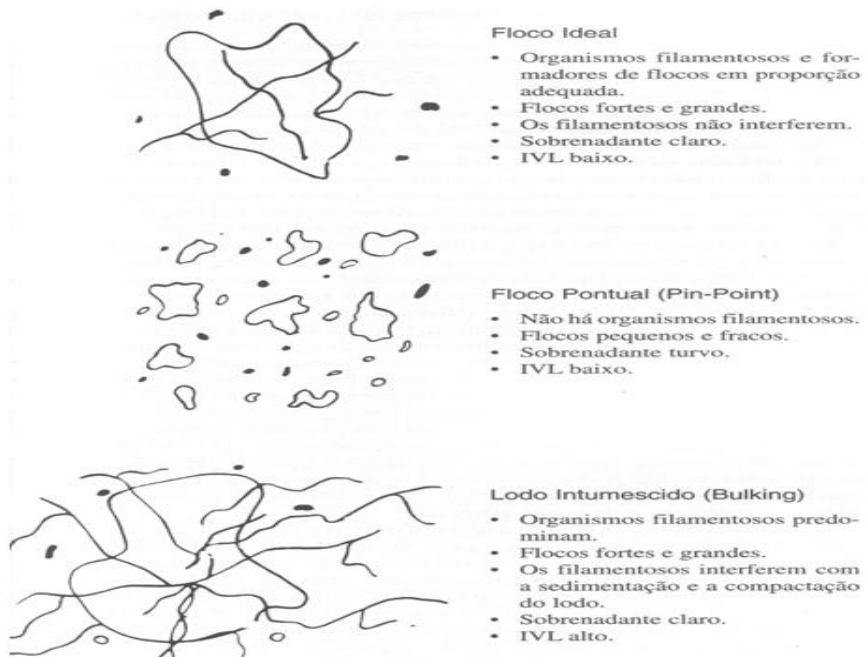
Boa parte do sucesso operacional do sistema depende do balanço entre os organismos filamentosos e os formadores de floco, podendo ocorrer três diferentes condições devido a este balanço: (VON SPERLING, 2002).

- Predominância dos organismos formadores de floco – O floco gerado é pequeno e fraco, tendo uma má decantabilidade. (“Pin-Pont”);
- Predominância dos organismos filamentosos – Os flocos formados têm os seus filamentos se projetando para fora do floco, impedindo a aderência de outros flocos. Depois do período de sedimentação os flocos ocupam um volume excessivo, o que

causa uma elevação no nível da manta de lodo, podendo prejudicar a qualidade do efluente final. (Intumescimento de lodo ou Bulking);

- Equilíbrio entre os organismos filamentosos e formadores de floco – O sistema vai apresentar boa decantabilidade e adensabilidade do lodo.

Figura 2.4: Desenho da formação dos tipos de floco de lodo ativado



Fonte: Von Sperling,2002; Jordão; Pessôa, 2009.

Para a formação do Lodo intumescido diferentes causas podem ser indicadas, mas todas elas estão associadas às condições operacionais e ambientais a que as bactérias ficam expostas. Dentre elas podem ser citadas: baixo oxigênio dissolvido; baixa relação entre a carga de alimentos fornecida (A) com a massa de microrganismos (M) (A/M); esgoto afluente séptico; deficiência de nutrientes; baixo pH. Na maioria dos casos o controle deste fenômeno era feito através de contextos operacionais com a manipulação de vazão de recirculação de lodo, fornecimento da quantidade de oxigênio, adição de produtos químicos e cloração, porém, com um estudo aprofundado e o conhecimento da dinâmica das populações microbianas se tornou possível incorporar no projeto dos sistemas a prevenção da ocorrência do intumescimento. O princípio desses projetos baseia-se em um reator de elevada disponibilidade de alimento (alto A/M), pois com isso as bactérias formadoras de floco têm uma vantagem de sobressair das demais, devido a ter melhores condições de assimilar altas cargas de substrato do que organismos filamentosos (METCALF & EDDY, 2003; VON SPERLING, 2002).

Um dos seletores biológicos mais presente nas configurações dos reatores de sistema de lodo ativado é a disponibilidade de oxigênio, pois com este requisito operacional, diferentes organismos podem proliferar no reator; os ambientes proporcionados por este seletor são: ambientes aeróbios, anóxicos e anaeróbios.

A disponibilidade de oxigênio favorece diretamente à diversidade de organismos responsáveis pelo o tratamento. Em um ambiente aeróbio pode-se destacar que são favorecidos pelos organismos o processo da nitrificação, a biodegradação do material orgânico e o processo específico de PAOS conhecido como “luxury uptake” que trata-se da absorção de fósforo em excesso na massa celular desses organismos sob condições de estresse (Zonas alternadas anaeróbia - aeróbia). Nas zonas anóxicas pode-se enfatizar a presença de organismos que promovem o processo da desnitrificação, no qual o nitrato é utilizado como acceptor de elétrons alternativo e é transformado para a sua forma mais simples, o nitrogênio molecular. Já em ambientes anaeróbios pode-se destacar a sua contribuição para a seleção de organismos acumuladores com PAOS e GAOS, pois, estes organismos conseguem “sequestrar” material orgânico solúvel nos períodos anaeróbios, enquanto bactérias convencionais ficam inertes. Todas estas zonas promovem efetivamente a biodegradação do material orgânico (VAN HAANDEL, 1999; VON SPERLING, 2002; METCALF & EDDY, 2003; BASSIN, 2012).

Outra condição operacional que é fundamental para projetos de sistemas de tratamento e que é um grande seletor biológico é a idade do lodo. Como consta na literatura os microrganismos têm diferentes formas de sintetizar suas fontes de energia possuindo metabolismos diferentes (Tabela 2.3), por esta razão seu crescimento pode ser mais lento ou mais rápido quando comparados a outros seres. A idade de lodo esta diretamente envolvida no desenvolvimento do processo de nitrificação nos sistema de lodo ativado, pois estudos revelaram que seres autotróficos responsáveis pelo processo, tinham um crescimento mais lento, implicando na necessidade de um tempo de permanência longo no reator biológico. Dessa forma para intensificar a ação dessas bactérias nitrificantes, estudiosos indicam o aumento da idade de lodo, proporcionando um maior tempo da massa biológica no sistema (VAN HAANDEL, 1999). Esta condição operacional é alvo de vários estudos atuais que envolvem a competição de PAOS e GAOS em sistema que objetiva a remoção efetiva de fósforo (EBPR), onde estudos demonstram indícios que nos reatores de menor idade de lodo há prevalência de organismos acumuladores de fósforo (PAOS) (SANTOS, 2014).

Tabela 2.3: Descrição do metabolismo bacteriano através de doadores e aceptores de elétrons, da fonte de carbono e dos produtos formados.

Tipo de Organismo	Nome Comum da Reação	Fonte de Carbono	Doador de Elétrons (substrato oxidado)	Aceptor de Elétrons	Produtos
Heterotróficos Aeróbios	Oxidação Aeróbia	Compostos Orgânicos	Compostos Orgânicos	O ₂	CO ₂ , H ₂ O
Autotróficos Aeróbios	Nitrificação	CO ₂	NH ₃ ; NO ₂ ⁻	O ₂	NO ₂ ⁻ ; NO ₃ ⁻
	Oxidação do Ferro	CO ₂	Fe ²⁺	O ₂	Fe ₃ ⁺
	Oxidação do Enxofre	CO ₂	H ₂ S, S ⁰ , S ₂ O ₃ ²⁻	O ₂	SO ₄ ²⁻
Heterotróficos Facultativos	Desnitrificação ou Reação Anóxica	Compostos Orgânicos	Compostos Orgânicos	NO ₂ ⁻ ; NO ₃ ⁻	N ₂ , CO ₂ , H ₂ O
Heterotróficos Anaeróbios	Fermentação Ácida	Compostos Orgânicos	Compostos Orgânicos	Compostos Orgânicos	Ácidos Graxos Voláteis - AGV (acetato, propionato, butirato)
	Redução do ferro	Compostos Orgânicos	Compostos orgânicos	Fe ³⁺	Fe ²⁺ , CO ₂ , H ₂ O
	Redução do Sulfato	Compostos Orgânicos	Compostos orgânicos	SO ₄	H ₂ S, CO ₂ , H ₂ O
	Metanogênese	Compostos Orgânicos	Ácidos Graxos Voláteis	CO ₂	CH ₄
Autotróficos Anaeróbios	Anammox	CO ₂			

Fonte: Metcalf & Eddy, 2003; Silva Filho, 2014.

O pH e a temperatura influenciam muito os processos bioquímicos que ocorrem no meio presente no tratamento, as suas variações bruscas podem ocasionar a inibição de muitos seres, dessa forma o controle e o cuidado com esses parâmetros são documentados na maioria dos estudos que envolvem processos biológicos. Decorrentes dos estudos atuais que envolvem o melhor conhecimento da dinâmica de seres acumuladores, pode se destacar o quanto que esses seres são influenciados pelos parâmetros do pH e da temperatura, pois, como estudos revelam a energia necessária para o transporte de ácidos graxos voláteis (AGV) e o fosfato de organismos acumuladores de fósforo (PAOs) através da membrana celular são altamente influenciada pelo pH, fazendo com que este parâmetro tenha uma influência direta na razão entre a quantidade de AGV consumida e a liberação de fósforo no meio líquido (SMOLDERS; VAN DER MEIJ; VAN LOOSDRECHT; HEIJNEN, 1994). Referente à temperatura, estudos revelam que níveis elevados deste seletor favorecem o crescimento de GAOs em detrimento ao de PAOs, o que representa um significativo problema para sistemas de lodo ativado que visem a remoção de fósforo (EBPR) em regiões de clima quente (BASSIN et al, 2012.).

Outras condições específicas são as distintas fontes de carbono fornecidas como substratos no meio para intensificar os processos bioquímicos. Diversos estudos colocaram em pauta a utilização de substratos como o etanol, glicose, acetato, propionato dentre outros.

Pode-se destacar o acetato (HAc) e o proprionato (HPr) como as fontes de carbono dominantes em esgotos de estações de tratamento de grande escala, sendo o acetato um dos mais aceitáveis e o mais rapidamente biodegradável substrato para diferentes organismos. Decorrente da utilização do substrato outra prática comum em técnicas avançadas de tratamento biológico é o estabelecimento de um regime *feast-famine*, isto é, com e sem a disponibilidade de substrato, para a prevalência de alguns organismos (VAN LOOSDRECHT et al., 1997; SANTOS, 2014).

Como foram explicitadas no texto diversas condições operacionais podem influenciar no desenvolvimento da microfauna presente em sistema de lodo ativado; inúmeros estudos abordam a influência dessas condições sobre o metabolismo, distinção de espécies bacterianas e eficiência de tratamento, podendo ser destacados os seguintes parâmetros expostos da tabela 2.4 que sempre são citados em estudos de seleção biológica.

Tabela 2.4: Principais condições operacionais que influenciam na aclimação do lodo em sistemas de lodo ativado (seletores biológicos).

SELETORES BIOLÓGICOS
1- Disponibilidade de oxigênio;
2- Concentração de oxigênio dissolvido no meio;
3- Temperatura;
4- pH;
5- Relação da massa de alimento fornecida com a massa celular presente (A/M);
6- Tipo de fluxo no sistema;
7- Substrato seletivo (ex: adição de acetato no afluente);

Fonte: Próprio autor.

Condições operacionais estão ligadas diretamente ao bom funcionamento de um sistema de tratamento. Dessa forma, conhecer como tais condições influenciam no metabolismo, crescimento, disposição dos microrganismos responsáveis pelo processo de biodegradação é de fundamental importância e tem como objetivo estabelecer condições favoráveis para a intensificação dos processos que promovem o tratamento nos sistemas.

Sendo de suma importância salientar que algumas estratégias envolvidas no tema ainda precisam ser melhor desenvolvidas e estudadas, como é o caso de sistemas de lodo ativado que visem a remoção biológica de fósforo (EBPR). A tecnologia EBPR estabelece parâmetros

operacionais que fomentam o aparecimento de organismos intitulados GAO (organismos acumuladores de glicogênio) que são competidores com PAO (organismos acumuladores de fósforo) no “seqüestro” de material biodegradável em zonas anaeróbias. Esta competição pode comprometer completamente o objetivo do sistema, pois os GAOS não promovem o processo do “luxury uptake”, a captura de excesso de fósforo. Portanto, se a predominância de GAOS nesses sistemas se estabelecer, a eficiência de remoção de fósforo vai ser diminuída significativamente. Contudo os mecanismos que influenciam a ocorrência de GAOs em sistemas EBPR não foram totalmente elucidados, demonstrando a necessidade de um conhecimento concreto sobre os microrganismos para discorrer sobre problemas como este, visando o desenvolvimento e otimização do sistema de lodo ativado. Informações que envolvam o metabolismo bacteriano deixam bem claro os processos que ocorrem no lodo ativado, como pode ser visto de forma sucinta na tabela 2.3.

2.4.3 Microrganismos presentes em Sistemas de Lodo Ativado

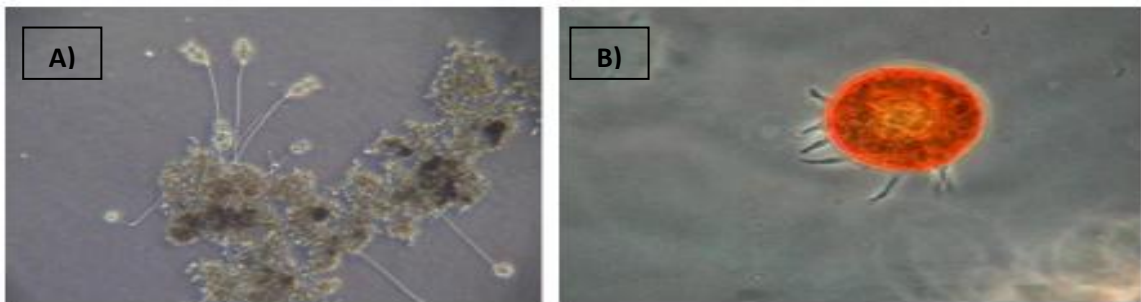
A tecnologia que envolve o tratamento de efluentes através de processos biológicos tenta elucidar e reproduzir processos ocorridos em ambientes naturais, permitindo a convivência de diversos microrganismos que estabelecem relações e interações que promovem a degradação biológica de poluentes. Na maioria dos sistemas de tratamento o meio presente é relativamente pobre em nutrientes, ocasionando um ambiente de estresse para algumas linhagens de bactérias que produzem cápsulas de material polissacarídeo na superfície externa das células. Para algumas teorias científicas a excreção dessas substâncias pode ser uma estratégia de sobrevivência das bactérias em ambientes hostis, pois confere a esses organismos capacidade de adesão e aglomeração. Pode-se ver este mecanismo com a simples aeração de uma amostra de esgoto doméstico, onde em poucas horas é gerada uma massa em suspensão, constituída de pequenos flocos, e nas paredes do recipiente aerado. Há formação também de uma massa de aspecto gelatinoso, denominada biofilme. Em sistemas de lodo ativado este mecanismo bacteriano é o início da formação de um floco onde sua composição depende de um micro-sistema complexo formado por bactérias, fungos, protozoários e micrometazoários (SANT’ANNA JR, 2010).

Os microrganismos presentes no sistema de lodo ativado estão diretamente interligados por uma cadeia alimentar, onde as bactérias e fungos são decompositores do material orgânico complexo, retirando sua fonte de energia para crescer e se multiplicar, logo

no decorrer da cadeia alimentar estes seres serve de alimento para os protozoários, que por sua vez, são consumidos pelos metazoários que também podem se alimentar diretamente de bactérias, fungos ou até mesmo de fragmentos maiores dos flocos de lodo ativado (OLIVEIRA, 2014).

A caracterização de comunidades de protozoários e metazoários, presentes no tanque de aeração do sistema de lodos ativados, é uma ferramenta bastante útil para o seu monitoramento. Os grupos mais comuns presentes no sistema são dos flagelados, ciliados livres, ciliados fixos, ciliados andarilhos, suctórios, tecamebas, bactérias e rotíferos, alguns desse estão ilustrados nas figuras 2.5 e figura 2.6 (PIEIDADE, 2010).

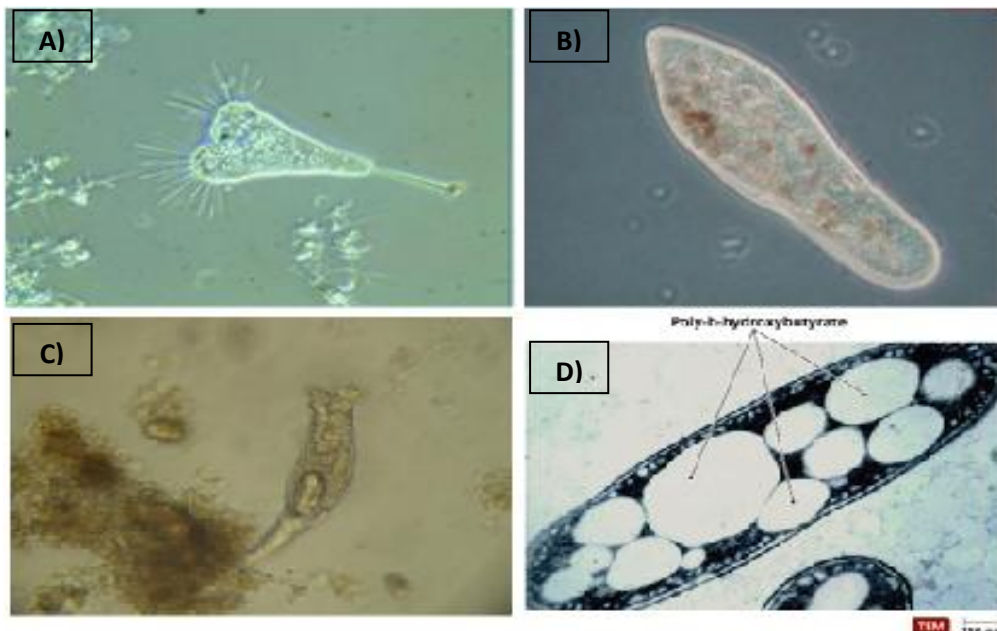
Figura 2.5: Fotos microscópicas de organismos presentes em Sistema de Lodo Ativado



(A) Ciliado fixos, (B) Tecameba

FONTE: Piedade, 2010.

Figura 2.6: Fotos microscópicas de organismos presentes em Sistema de Lodo Ativado II.



(A) Suctória, (B) Ciliado livre-natante, (C) Metazoário Rotífero, (D) Bactéria poli-p com polihidroxibutirato (PHB) acumulado dentro da célula.

FONTE: Piedade, 2010; Pearson, 2006.

A grande maioria dos autores agrupa a microfauna presente no lodo ativado conforme especificado na Tabela 2.5. Diversos estudos também direcionam a importância de microrganismos como indicadores de condições operacionais relacionadas ao sistema, como está demonstrada na tabela 2.6.

Tabela 2.5: Classificação utilizada para os microrganismos presentes em lodos ativados.

Grupos	Classificação	Breve descrição
Ciliados	Ciliados predadores de flocos - CPF	Possuem a célula achatada dorsoventralmente e cílios modificados e agrupados na parte do corpo que fica em contato com o substrato. São vorazes predadores de bactérias.
	Ciliados Livre Natantes - CLN	Possuem cílios distribuídos regularmente por toda a célula e nadam livremente entre os flocos. São predadores e carnívoros.
	Ciliados Fixos - CF	Ficam unidos ao substrato por um pedúnculo, sendo algumas espécies, coloniais. Os cílios encontram-se na região anterior do corpo, próximo à cavidade oral.
Amebas	Tecamebas - TAMB	Possuem revestimento externo constituído por proteínas, sílica, calcário, ferro, etc.
	Amebas nuas - AMN	Não possuem forma definida, têm corpo mole.
Flagelados	Zooflagelados - ZFL ou FLG	São flagelados não pigmentados podendo ter de um a vários flagelos. Ingerem matéria sólida ou substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas.
Micrometazoários	Rotíferos, Nematóides, Anelídeos, Tardígrados - MTZ	São organismos pluricelulares de vários filos. Possuem lenta taxa de crescimento, sendo a maioria composta por predadores de bactérias e protozoários.

FONTE: Adaptado de Figueiredo et. al., 1997; Bento et. al., 2005.

Tabela 2.6: Microrganismos indicadores das condições operacionais.

Microrganismos	Características do processo
Predominância de flagelados e amebas	Lodo jovem, característica de início de operação ou baixa idade do lodo
Predominância de flagelados	Deficiência de aeração, má depuração e sobrecarga orgânica
Predominância de ciliados pedunculados e livres	Boas condições de depuração
Predominância de <i>Arcella</i> (ameba com teca)	Boa depuração
Predominância de <i>Aspidisca costata</i>	Nitrificação
Predominância de <i>Trachelophyllum</i>	Alta idade do lodo
Predominância de <i>Vorticella microstoma</i> (ciliado pedunculado) e baixa concentração de ciliados livres	Efluente de má qualidade
Predominância de anelídeos do gênero <i>Aeolosoma</i>	Excesso de oxigênio dissolvido
Predominância de filamentos	Intumescimento do lodo

FONTE: Adaptado de Figueiredo et. al., 1997; Bento et. al., 2005.

Estudos que correlacionam um bom desempenho do sistema com os organismos predominantes são uma forte ferramenta para o desenvolvimento das tecnologias de tratamento, porém, tal ferramenta ainda é incipiente no Brasil, e os resultados são, em geral, subutilizados. Em países desenvolvidos com a Alemanha, a análise microscópica do lodo é prescrita legalmente para sistemas de lodos ativados e o seu diagnóstico é utilizado para alterar as características operacionais do sistema, tais como a idade do lodo e a concentração de OD no reator (BENTO et al., 2005; PIEDADE, 2010).

2.4.3.1 A remoção do material orgânico e os microrganismos envolvidos

O material orgânico presente nas águas residuárias é removido nos processos biológicos através da ação bioquímica de microrganismos em especial bactérias heterótrofas. Este material pode ser dividido em material biodegradável podendo ser metabolizado pelos microrganismos do lodo ativado, e material não biodegradável que não sofrerá modificação e sairá no efluente ou será incorporado no lodo como fração inerte. O uso do material orgânico pelas bactérias se dá por dois mecanismos distintos conhecidos como anabolismo e catabolismo que compõem o metabolismo bacteriano. No anabolismo o material orgânico é utilizado pelas bactérias como fonte para síntese de material celular, o que resulta no aumento da massa bacteriana. Já no catabolismo o material orgânico é utilizado como fonte energética sendo oxidado e liberando energia. Parte desta energia é usada pelas bactérias no processo de anabolismo (VAN HAANDEL, 1999; BLACK, 2002; SANTOS, 2014).

Para tentar entender melhor como ocorre a remoção de material orgânico no sistema, Van Haandel e Marais (1999) descrevem o balanço de massa do material orgânico que é constituído pelo modelo simplificado que estabelece um regime estacionário que se caracteriza pelo fato da composição de licor misto não mudar com o tempo. Tendo a transformação do material orgânico afluente duas possibilidades:

- Transformação em lodo orgânico através de processos bioquímicos (anabolismo, decaimento) ou físicos (floculação, adsorção);
- Oxidação dos resíduos orgânicos para produtos inorgânicos.

Dentro desse modelo, conclui-se que o material orgânico afluente se divide em três frações distintas no sistema de lodo ativado:

- Parte do material orgânico afluente não é removida da fase líquida e deixa o sistema de lodo ativado junto com o efluente (MS_{te});
- A segunda parte do material orgânico é transformada em lodo orgânico e deixa o sistema como lodo de excesso (MS_{xv});
- A terceira parte do material orgânico é oxidada para produtos inorgânicos gasosos (MS_o).

O balanço de massa do material orgânico removido do sistema de lodo ativado proposto por Van Haandel e Marais (1999) é fundamentado na seguinte equação principal:

$$MS_{ta} = MS_{te} + MS_{xv} + MS_o \quad (\text{Equação 2.1});$$

$$B_o = (MS_{te} + MS_{xv} + MS_o)/MS_{ta} \quad (\text{Equação 2.2})$$

Onde:

MS_{ta} = Massa da DQO aplicada diariamente (kgDQO. d^{-1});

MS_{te} = Massa da DQO diária no efluente (kgDQO. d^{-1});

MS_{xv} = Massa da DQO diária no lodo de excesso (kgDQO. d^{-1});

MS_o = Massa da DQO diária oxidada (kgDQO. d^{-1}).

Diversos estudos demonstram que a eficiência dos processos biológicos depende muito de bactérias e protozoários. Os protozoários e micrometazoários como os rotíferos contribuem para o equilíbrio da microfauna presente, se alimentando de bactérias, algas e ajudando na purificação do efluente contribuindo com a remoção de material orgânico. Os fungos também participam na decomposição da matéria orgânica, estando presente, nos processos de lodo ativado fungos imperfeitos (sem reprodução sexuada) com os *Deuteromicetos* e do gênero *Geotrichum*. Estudos também demonstram que o excesso de determinados fungos formam uma massa filamentosa que induz o intumescimento filamentoso (NUNES, 2011).

2.4.3.2 A remoção biológica do fósforo e os microrganismos envolvidos

O elemento fósforo é um componente celular e tem fundamental importância nos processos de transferência de energia, dentro de uma célula. No entanto, níveis descontrolados desse elemento favorecem o crescimento exacerbado de algas, promovendo o fenômeno da eutrofização, que diminui a qualidade e as possibilidades de uso de corpos aquáticos.

Em torno de 80% do fósforo presente nos esgotos sanitários podem estar na forma inorgânica, já a parcela se apresenta na forma orgânica está contida nos fosfolipídeos, ésteres, polinucleotídeos e substâncias como ATP, ADP e AMP. A presença de fósforo nas águas superficiais se atribui a duas principais fontes: (1) de águas advindas de terras cultivadas e adubadas com fertilizantes químicos e (2) de descargas de águas residuárias, tendo sua quantidade bastante variada e sendo influenciadas pela presença de despejos industriais, cargas não pontuais e pelos detergentes (VON SPERLING, 2002; SANT'ANNA JR, 2010; SANTOS, 2014).

Em 1965, Levin e Shapiro apresentam conceitos científicos que representaram significativos avanços na remoção biológica do fósforo, provando que flocos de lodo ativado teriam a capacidade de remover o fósforo do efluente, através de um mecanismo específico de algumas bactérias, que assimilavam do meio uma quantidade de fósforo superior à necessidade para o desenvolvimento da célula ou para satisfazer as necessidades naturais do seu metabolismo. Este fenômeno ficou conhecido como “*luxury uptake*”, sendo atualmente reconhecido pela literatura como “*Enhanced Biological Phosphorus Removal- EBPR*” ou em uma tradução literal “Remoção de Fósforo Melhorada” (ROQUES, 1980, JORDÃO; PESSÔA, 2009).

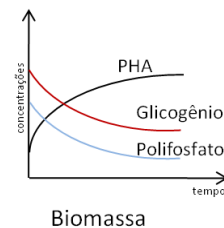
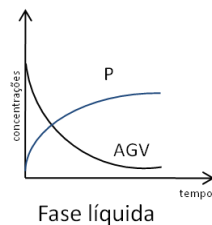
Sistemas EBPR funcionam com condições alternadas de zonas aeróbias e anaeróbias, promovendo um ambiente de estresse para os organismos envolvidos tanto com a disponibilidade de oxigênio quando com o substrato que envolve o mecanismo de *feast-famine* (com e sem a ocorrência do substrato), estas condições operacionais deixam o meio propício para o surgimento de organismos acumuladores de polifosfato (*polyphosphate-accumulating organisms - PAO*), pois essas bactérias possuem uma fisiologia complexa que lhe proporciona a formação e o consumo de polímeros intracelulares (polifosfato, glicogênio e polihidroxialcanoatos) (BASSIN, 2012).

Em zonas anaeróbias os PAOs conseguem metabolizar fontes de carbono de cadeia curta (facilmente biodegradável) como os ácidos graxos voláteis (AGV) através da energia

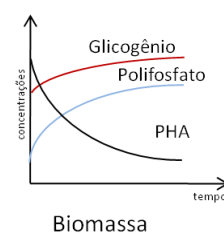
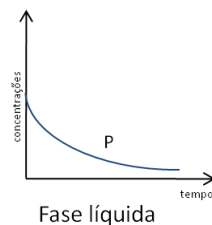
adquirida pela quebra das cadeias de polifosfato e liberação de fosfato da célula para o meio líquido. Com essa energia armazenam o AGV em forma de polímeros intracelulares (PHA). Já na fase aeróbia subsequente, estes serem utilizam o PHA acumulado como material para crescer e como fonte de energia para recuperar reservas de glicogênio e polifosfato. A remoção de fósforo no sistema se dá através da descarga de lodo de excesso, que devido a presença dos PAOs, contém alta fração de polifosfato armazenado. A figura 2.7 ilustra bem esse mecanismo utilizado pela bactéria PAO em sua fase líquida e sólida (SEDLAK, 1991; VAN LOOSDRECHT et al., 1997; BASSIN, 2012).

Figura 2.7: Variações dos componentes nas fases líquida e sólida (biomassa) dos organismos PAOs nas etapas anaeróbia e aeróbia

Etapa Anaeróbia



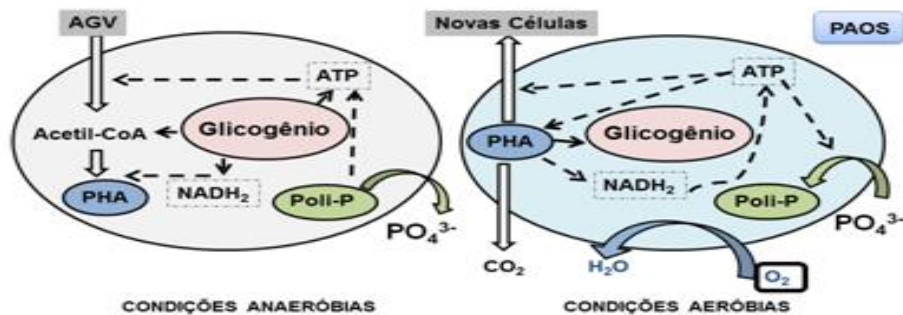
Etapa Aeróbia



Fonte: Adaptado de SANT'ANNA JR, 2010.

A figura 2.8 representa bem o que ocorre dentro da célula bacteriana no processo EBPR, onde o potencial de redução requerido para a formação de PHA é proveniente da glicólise do glicogênio armazenado (SMOLDERS et al., 1994). Ilustra também a quebra da cadeia de polifosfato para a obtenção de energia na fase anaeróbia e o consumo de PHA para recuperação das reservas de glicogênio e polifosfato.

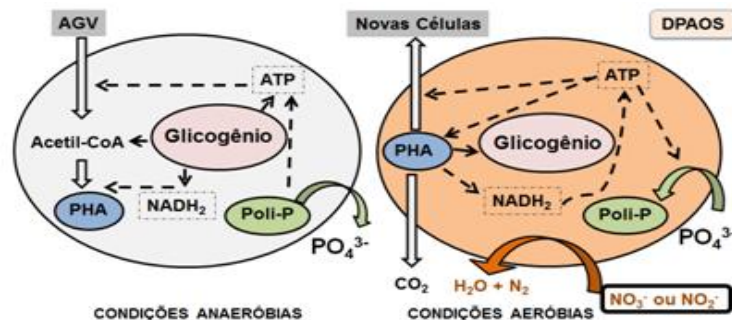
Figura 2.8: Metabolismo de organismos acumuladores de fósforo (PAO)



Fonte: Adaptado de Santos, 2014.

A forma convencional de funcionamento dos sistemas EBPR como já explicitado no texto, envolvem condições anaeróbicas e aeróbicas alternadas, porém estudos recentes demonstram que a remoção de nutrientes também pode ser conseguida em sistemas submetidos a condições anaeróbicas e anóxicas alternadas, isso devido à participação de seres acumuladores de polifosfato desnitrificantes (DPAO), que utilizam o nitrito e/ou nitrato ao invés do oxigênio para o consumo anóxico do fósforo. O processo ocorrido baseia-se na formação de nitrito e nitrato devida ao fenômeno da nitrificação no reator aeróbio e decorrente a presença desses seres específicos a remoção de fósforo é promovida acoplada com a desnitrificação, com ilustra a figura 2.9 (BASSIN, 2012; SANTOS, 2014).

Figura 2.9: Metabolismo de organismos acumuladores de fósforo desnitrificantes (DPAO)



Fonte: Adaptado de Santos, 2014.

Hoje os sistemas EBPR são largamente utilizados por possuírem uma forma econômica e eficiente para remoção de fósforo. Entretanto a estabilidade do processo é de difícil controle e requer mão de obra especializada. Uma das principais causas do declínio do desempenho de sistemas removedores biologicamente de fósforo está ligada ao surgimento de organismos acumuladores de glicogênio (glycogen-accumulating organisms- GAO), estes organismos são competidores dos PAOs, pois podem também metabolizar AGV em zonas anaeróbicas e

armazenar PHA, por isso conseguem se proliferar em condições anaeróbias e aeróbias alternadas. Porém na fase aeróbia os organismos GAOs consomem o PHA armazenado para restaurar suas reservas de glicogênio e crescer, não contribuindo para a remoção de fosfato, pois não há em seu metabolismo liberação nem consumo deste composto, sendo assim um ser indesejável para um bom funcionamento de sistemas EBPR(SAUNDERS et al., 2003; ZENG et al., 2002; OEHMEN et al., 2006).

Estratégias operacionais que visam o favorecimento dos PAOs em detrimento dos GAOs são alvos de diferentes estudos no mundo, sendo em suma de grande importância para a otimização e estabilidade de sistemas de remoção biológica de fósforo. Entre os fatores mais discutidos nas pesquisas estão o pH, fonte de carbono, temperatura, idade de lodo e estratificação do lodo (LIU et al., 1997; WHANG; PARK, 2006; BASSIN, 2012; SANTOS, 2014).

2.5 Respirimetria

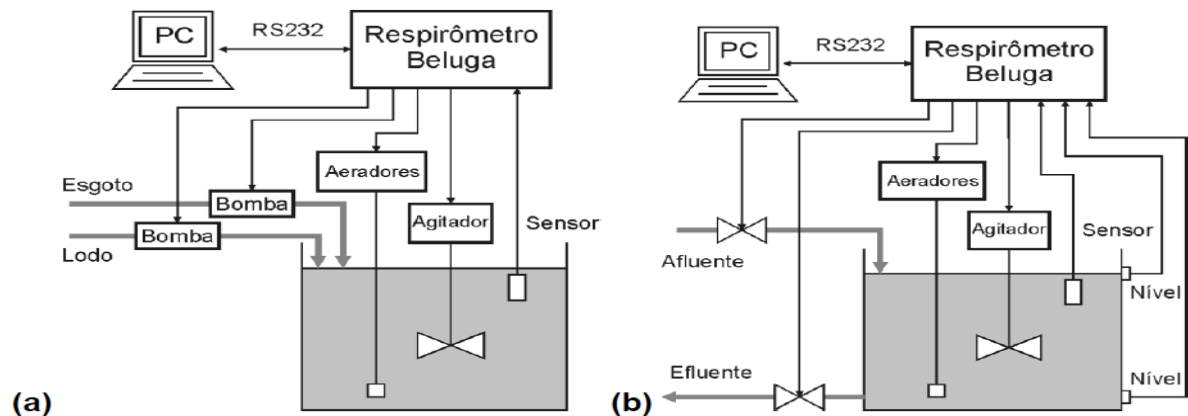
O estudo da respirometria é uma ferramenta importante para o desenvolvimento de técnicas avançadas de tratamento. As técnicas respirométricas vêm tendo uma aplicação crescente no controle e entendimento dos processos biológicos envolvidos no tratamento. Estas se baseiam em medições do consumo de oxigênio realizado por microorganismos durante o catabolismo oxidativo (DERKS, 2007). Em seu procedimento é calculado o consumo de oxigênio referente ao tempo (TCO- Taxa de consumo de oxigênio), onde essa taxa pode ser determinada por aparelhos denominados respirômetros. Os respirômetros podem ser do tipo aberto (contínuo ou semicontínuo) ou fechado subdivididos em manométricos, volumétricos e combinados (SANTOS, 2009; OLIVEIRA, 2014).

Os testes respirométricos se tornaram uma ferramenta importante no entendimento e controle dos processos biológicos em sistema de lodo ativado, pois são muito úteis para avaliar a biodegradabilidade e toxicidade de efluentes, descrever o metabolismo bacteriano, a influência de fatores ambientais sobre este metabolismo e a cinética dos processos biológicos entre outros parâmetros relacionados com a biomassa ativa presente na suspensão do lodo (DERKS, 2007).

Para a obtenção dos cálculos de TCO para esta dissertação foi utilizado o respirômetro Beluga que foi desenvolvido por Catunda et al. (1996) em parceria com a Universidade

Federal de Campina Grande –UFCG. Este respirômetro é do tipo aberto e semicontínuo, tendo sua aeração controlada pelo software S32c (figura 2.10). Este software ativa o aerador quando a concentração de oxigênio dissolvido atinge um limite inferior previamente estabelecido, sendo desativado quando o oxigênio dissolvido atinge limite superior também estabelecido. Nos períodos sem aeração o consumo de oxigênio pelas bactérias causa diminuição da concentração de OD até chegar o limite inferior, reiniciando-se a aeração, assim há ciclos de períodos com e sem aeração. Durante os períodos sem aeração o Beluga calcula a TCO a partir da variação da concentração de OD com o tempo (SANTOS, 2009).

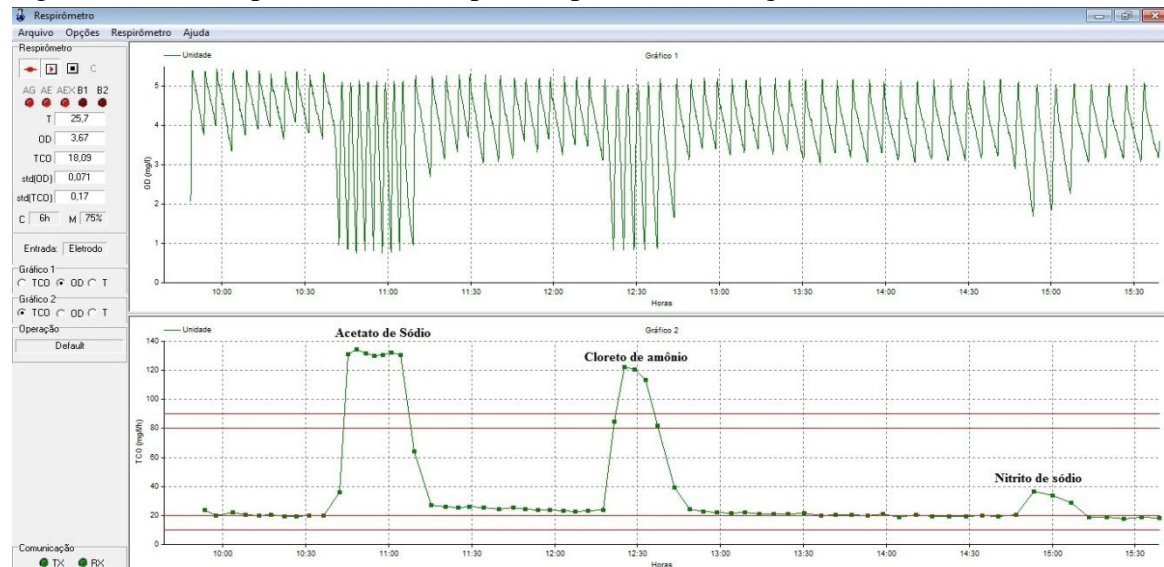
Figura 2.10: Ilustração esquemática do respirômetro Beluga. (a) configuração para testes respirométricos com fluxo contínuo. (b) configuração para testes respirométricos em regime de bateladas



Fonte: Van Haandel ; Catunda (2014)

Um teste padrão realizado por esse aparelho é exposto na figura 2.11 onde foi utilizado inicialmente acetato de sódio (material rapidamente biodegradável) proporcionando uma concentração de 240 mg DQO/l, para medir o metabolismo de seres heterotróficos, posteriormente foi adicionado cloreto de amônio (proporcionando 10 mgN-NH₄⁺/L) e nitrito de sódio (proporcionando 8 mgN-NO₂⁻/L), isso para medir o metabolismo de seres autotróficos (nitritadores e nitrificadores). Na figura 2.11 é apresentada dois gráficos onde o superior trata-se da concentração do OD medidos durante os períodos com aeração, tendo a concentração limite superior de 5 O₂mg/L e inferior de 1 O₂mg/L, no gráfico logo abaixo vê-se a curva da TCO calculada pelo software S32c do respirômetro Beluga, durante os períodos sem aeração.

Figura 2.11: Teste padrão realizado pelo respirômetro Beluga



Fonte: Próprio Autor.

A técnica respirométrica pode também indicar a presença de bactérias acumuladoras como GAO e PAO, através de uma queda gradativa da TCO exógena dentro de um teste respirométrico. Provando a versatilidade dessa técnica e colocando em ênfase a respirometria como estudo fundamental para a caracterização de todas as bactérias presentes nos sistemas de lodo ativados. Em suma o uso da respirometria interligada com análises físico-químicas se torna uma ferramenta forte e capaz de esclarecer o metabolismo de grupos microbianos diversificados presentes em um determinado licor misto (CANUDAS, 2005; LOPEZ-VAZQUEZ 2009; SANTOS, 2014).

A respirometria é uma importante ferramenta na determinação de constantes fundamentais para o entendimento do estudo com o coeficiente de rendimento, fração catabólica, dentre outras. Para a obtenção dos cálculos de TCO para esta dissertação foi utilizado o respirômetro Beluga que foi desenvolvido por Catunda et al. (1996) em parceria com a Universidade Federal de Campina Grande –UFCG, tendo sua aeração controlada pelo software S32c, onde o operador estabelece limites superiores e inferiores para concentração de oxigênio, criando assim um período semi-contínuo, onde inicialmente a aeração é ligada até atingir o seu limite superior (OD_{sup}), quando, então, a aeração é interrompida, no decorrer do processo o oxigênio sofre agora uma redução de sua concentração devido o seu consumo proporcionado pelo metabolismo bacteriano, até chegar a concentração de OD mínima (OD_{inf}), pré-estabelecida, quando esse limite inferior é ultrapassado é reiniciada a aeração, começando um novo ciclo (Figura 2.12) .A depleção de OD com o tempo permite o cálculo da TCO, como é demonstrado na fórmula seguinte:

$$TCO = (OD_{sup} - OD_{inf})/(\Delta t) \quad \text{Equação 2.6}$$

Onde:

TCO = Taxa de Consumo de Oxigênio (mg/L.min);

OD_{sup} = Oxigênio Dissolvido superior (mg/L);

OD_{inf} = Oxigênio Dissolvido inferior(mg/L);

Δt = Variação de tempo (minutos).

Os estudos respirométricos ajudam na obtenção de diferentes constantes que caracterizam o lodo analisado. Diferentes estudiosos já colocaram em ênfase a determinação das constantes para culturas predominantes objeto de estudo desse trabalho como demonstrado na tabela 2.7 que ilustram resultados além dos testes respirométricos. Porém ao longo do tempo com os avanços da biologia molecular alguns conceitos se desenvolveram e a presença de novos seres foi considerada, como é o caso dos organismos acumuladores de glicogênio (GAO) que pouco se tem elucidado sobre tais seres, e também é o caso dos seres DPAO e DGAO que são organismos acumuladores capazes de realizar o processo da desnitrificação no meio via nitrito e nitrato, que conforme a tabela 2.7 em estudos passados não se acreditava que o fenômeno da desnitrificação pudesse ocorrer em uma colônia pura de PAO, como é destacado em vermelho na constante de desnitrificação na tabela 2.7. Todas essas constantes demonstradas na tabela abaixo são fundamentais para a caracterização do lodo presente nos sistema de tratamento, sendo essencial o seu estudo para o desenvolvimento da tecnologia de lodo ativado.

Tabela 2.7: Resultados presentes na literatura das constantes analisadas na pesquisa

Característica	Símbolo	Unidade	Bactérias Normais (BH)	PAO	GAO
Estequiometria					
fração catabolizada	f _{cat}	-	0,33	?	?
razão DQO/SVS	f _{cv}	mgDQO/mgSVS	1,5	?	?
coefic. de rendimento	Y	mgSVS/mgDQO	0,45	?	?
razão P/SVS	f _p	mgP/mgSVS	0,025	0,38?	?
razão SVS/STS	SVS/STS	mgSVS/mgSTS	0,80	0,46	?
razão DQO acum/P lib	DQO/P	mgDQO/mgP	0,0	0,5	?
Cinética					
Constante de utilização	K _m	mgDQO/mg/d	8-10	?	?
Constante de desnitrificação	K _{md}	mgN/mg.XA/d	0,12	0 ?	?
Constante de ½ saturação	K _s	mgDQO/l	5	?	?
Constante de decaimento	b	/d	0,3	0,05 ?	?
Sedimentabilidade					
Compressibilidade	k	l/g	0,3-0,4	?	?
Velocidade não estorvada	v _o	m/h	8-12	?	?

Fonte: Van Haandel; Marais, 1999.

Capítulo 3

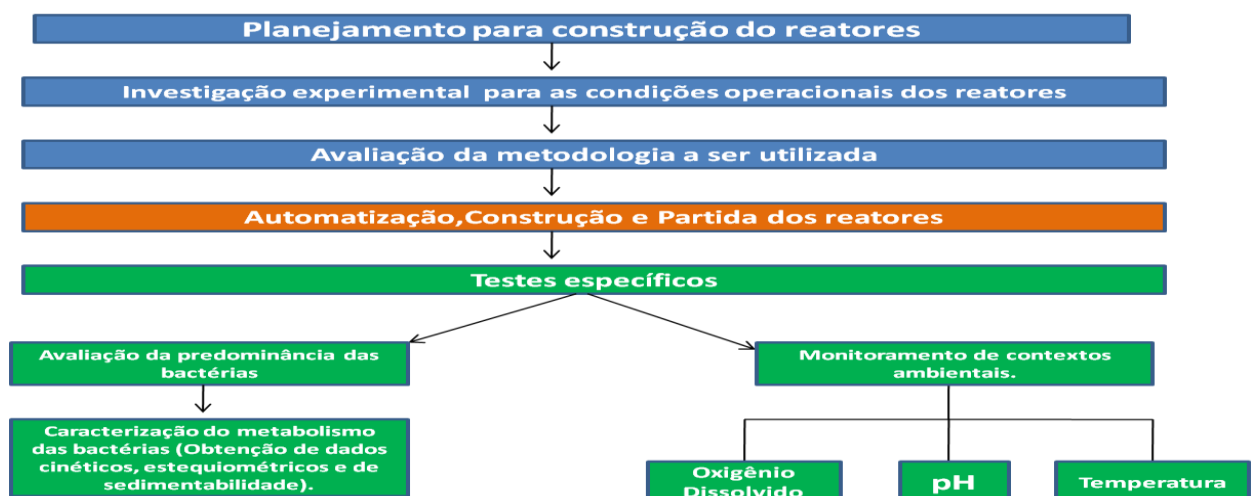
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Introdução

Os experimentos para obtenção e concretização para a produção dos lodos com predominância de bactérias distintas foram conduzidas nas dependências físicas da Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários (EXTRABES), onde atuam em parceria a Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizada no bairro do Tambor, com as seguintes coordenadas geográficas: 7°13'11''Sul, 35°52'31'' Oeste e aproximadamente, 550m acima do nível do mar, no município de Campina Grande- PB. Em suas instalações foi possível elaborar, operar e monitor três reatores RBS de lodo ativado com o intuito de atingir os objetivos propostos nesta dissertação.

A fase experimental da pesquisa foi iniciada no período de dezembro de 2013 e durou até novembro de 2014, tendo uma duração de 12 meses, nesse período foram realizadas atividades de planejamento para construção dos reatores, investigação experimental para as condições operacionais dos reatores, avaliação da metodologia a ser utilizada, dentre outras atividades. De forma a favorecer a compreensão das atividades realizadas durante o período de pesquisa foi construída a figura 3.0. Em destaque estão relacionados (Figura 3.1) os grupos microbianos que foram avaliados em termos cinéticos e estequiométricos dentro da pesquisa.

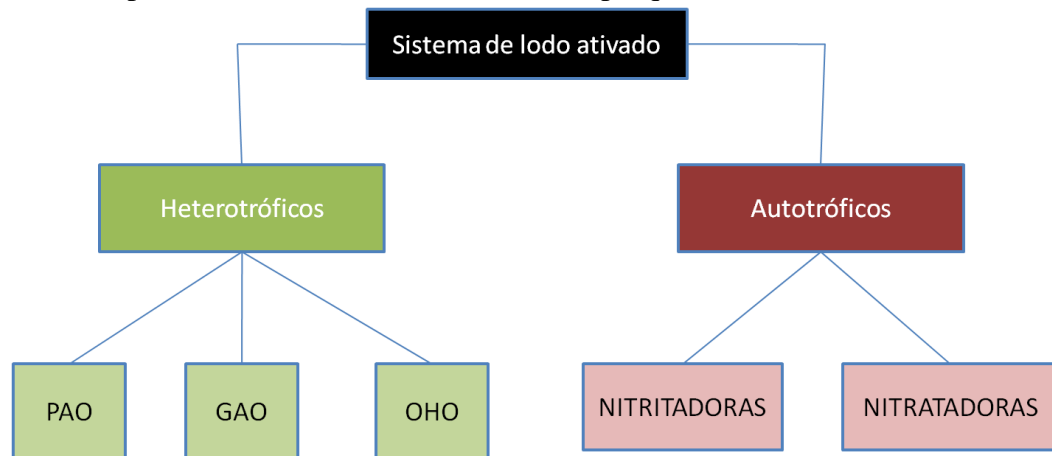
Figura 3.0: Contexto geral das principais atividades realizadas no período de pesquisa.



Zona azul: Pré projeto; Zona Laranja: Implantação do projeto; Zona Verde: Operação e obtenção de dados.

Fonte: Próprio Autor.

Figura 3.1: Grupos de Bactérias avaliados dentro da pesquisa



PAO- organismos acumuladores de fósforo; GAO – organismos acumuladores de glicogênio; OHO – organismos heterotróficos ordinários; Nitritadoras – bactérias autotróficas que transformam amônia em nitrito (AOB -Bactérias oxidadoras de amônia); Nitratadoras – bactérias autotróficas que transformam nitrito em nitrato (NOB- Bactérias oxidadoras de nitrito).

Fonte: Próprio Autor.

Na fase de pré projeto, foram definidas as estratégias a serem utilizadas para se atingir um lodo com predominância de bactérias distintas conforme o objetivo do trabalho, de forma a se ter uma estabilidade e um padrão dos processos bioquímicos que ocorreram nos sistemas. Estabeleceram-se as concentrações de substrato de cada reator e as condições operacionais que iriam ser impostas nos sistemas, como é demonstrado na tabela 3.0. Para evitar variações bruscas de material orgânico e possíveis contatos da biomassa com matérias tóxicas, situações essas, que ocorrem no esgoto comum, os reatores R2-OHO, R3-PAOs e R4- GAOs foram alimentados com o efluente do sistema de lodo ativado (UCT)(Figura 3.2), pois dessa forma haveria uma atenuação dos possíveis problemas relacionados ao esgoto comum. Com o bom funcionamento do UCT, pode-se ter a presença de micronutrientes e uma baixa concentração de nutrientes (fósforo e nitrogênio), possibilitando a manipulação das concentrações do afluente de cada reator, para imposição das melhores condições operacionais para distintas bactérias que iriam ser desenvolvidas nos sistemas. Houve a adição de substrato externo nos reatores para poder estabelecer a melhor condição de desenvolvimento para bactérias, tendo sempre disponíveis elementos essenciais para sua alimentação e crescimento.

Tabela 3.0: Parâmetros para a distinção dos reatores

Parâmetros	R2(OHO)	R3(PAO)	R4(GAO)
Afluente: Efluente UCT	x	x	x
Adição de Ácido Acético	x	x	x
Adição de Ureia	x	x	x
Adição de ácido fosfórico	x	x	
Fase Anaeróbia		x	x
Aeração Contínua	x		
Idade de lodo (dias)	5	5	5
Concentração de DQO afluente (mg/l)	8000	800	800
Concentração de Fósforo total afluente (mg/l)	200	40	7
Concentração de NTK afluente (mg/l)	200	30	30
Vazão (l/d)	3	30	30
Ciclos por dia	1	4	4
Tempo de permanência(d) (V_r/Q)	5	0,5	0,5
Volume do reator (L)	15	15	15
Lodo d excesso (L)	3	3	3

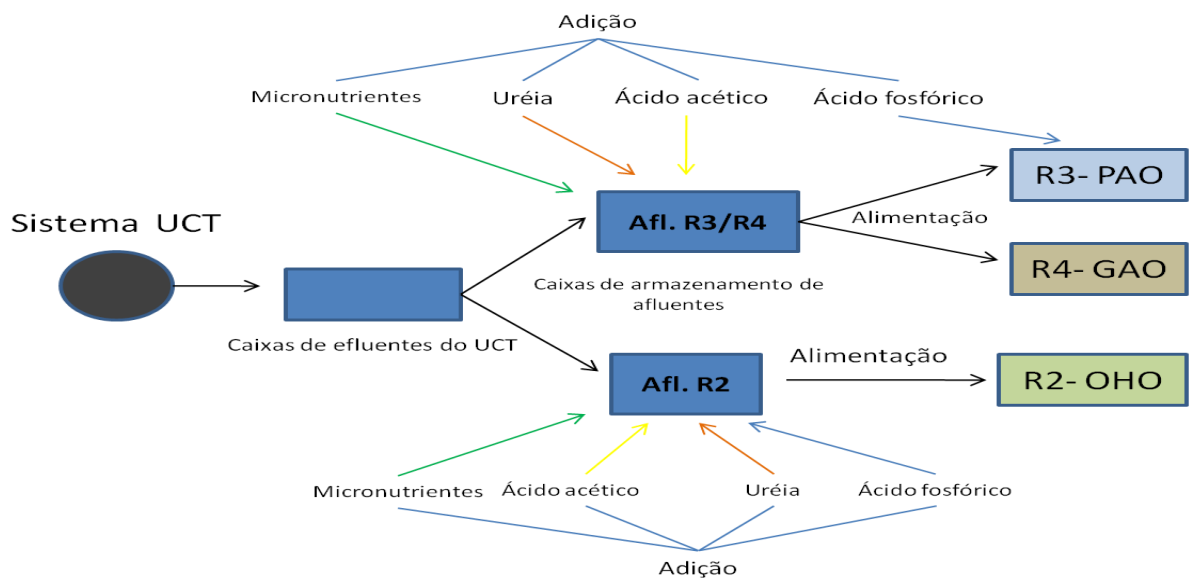
Observação: Para atingir as concentrações previstas foram adicionados substratos externos: Ácido Acético: DQO rapidamente biodegradável; Ureia: NTK; Ácido fosfórico: Fósforo total. Conforme o decorrer da pesquisa foi modificado alguns parâmetros que serão explicitados nos tópicos do funcionamento de cada reator.

Fonte: Próprio Autor.

As concentrações e vazões impostas nos reatores tiveram o intuito de proporcionar uma carga orgânica de 24 g de DQO por dia e uma idade de lodo de 5 dias, mantendo-se uma temperatura de aproximadamente 25 °C. A figura 3.2 ilustram como a alimentação ocorreu nos sistemas. É importante salientar que foi adicionada ao afluente dos sistemas uma solução de micronutrientes que foram utilizados compostos: $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ ($C= 0,024$ g/l), $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ ($C= 0,1$ g/l), H_3BO_3 ($C= 0,01$ g/l), molibdato de sódio. H_2O ($C= 0,024$ g/l), NaCl ($C= 1$ g/l), $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ ($C= 0,12$ g/l), sendo direcionado para o afluente dos reatores 1 ml da solução para cada litro de afluente, esta solução é uma adaptação da solução de micronutrientes proposta por Pescador (2001) e literatura apresentada no Metcalf & Eddy (2003) que referencia os elementos da composição celular de bactérias. Esta solução foi utilizada para garantir que o afluente desses sistemas tivessem micronutrientes suficientes para o desenvolvimento bacteriano; a preocupação seria que os micronutrientes pudessem ser um fator limitante do desenvolvimento das bactérias desses reatores, pois o líquido advindo

do UCT já teria passado por um tratamento biológico e sua biomassa utilizou os micronutrientes para a síntese e crescimento celular, mantendo possivelmente os níveis de micronutrientes baixos, contudo a adição dessa solução foi uma garantia para não ocorrer determinada situação.

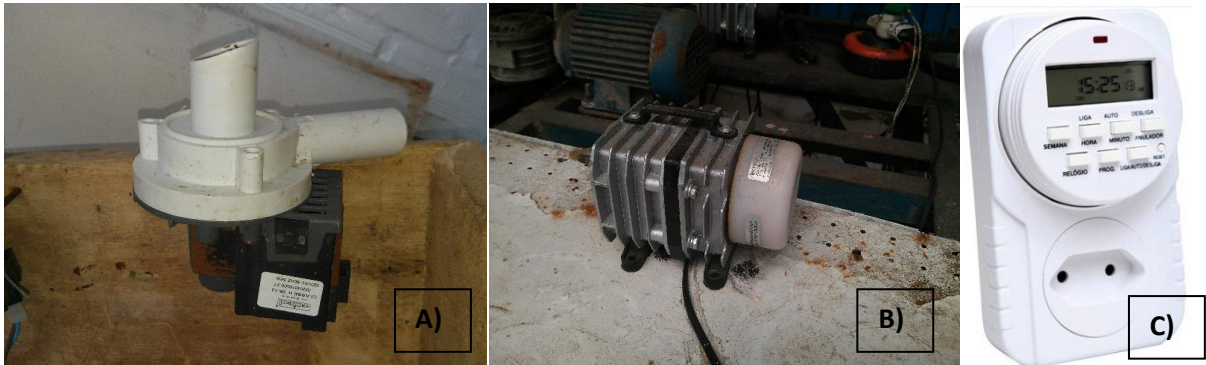
Figura 3.2: Alimentação dos sistemas R2(OHO), R3(PAO) e R4(GAO)



Fonte: Próprio Autor.

Na fase subsequente da pesquisa, na implantação dos reatores foi feita a automação dos sistemas com adição de bombas do tipo Pcx-a (Figura 3.3a) que distribuíam os afluentes com a adição correta de substrato externo para todos os sistemas RBS e foram instalados compressores de ar modelo Air Compressor, BOYU, potencia de 35 W e pressão máxima de 0,028 MPa, que eram ligados através de mangueiras com pedras porosas para o fornecimento de oxigênio em todos os reatores (Figura 3.3b). Para complementar a automação foram utilizados temporizadores (Figura 3.3c) assegurando o tempo exato de cada fase dos ciclos predeterminados acontecerem. Nesta fase, também foi dada a partida dos reatores utilizando o lodo de excesso do UCT como inócuo, pois este sistema já estava em funcionamento devido pesquisas anteriores e continuadas pelo grupo liderado por prof.PhD Adrianus Van Haandel e essa atividade aceleraria o processo metabólico e aclimação do lodo já que o lodo do UCT teria todos os tipos de bactérias que seriam objeto de estudo da dissertação, por tratar-se de um lodo com uma cultura mista.

Figura 3.3: Componentes da Automação do sistema.



a) Tipo de bomba utilizado na alimentação dos sistemas; b) Tipo de aerador utilizado nos sistemas; c) Temporizador digital utilizado na automação.

Fonte: Adaptado de Paula, 2014.

Depois de estabelecido um bom equilíbrio de funcionamento dos reatores, a pesquisa trilhou para a fase de obtenção de dados, onde se avaliou a predominância de cada tipo de bactéria que se queria nos reatores, através de testes específicos (cinéticos, estequiométricos e de sedimentabilidade); houve também o monitoramento de constantes ambientais para manutenção do bom funcionamento dos sistemas. Tendo esta fase como base os dados de análises físico-químicas, testes respirométricos, obtenção de constantes cinéticas e estequiométricas, além de observações feitas pelo microscópio para incrementar os resultados obtidos.

3.2 Caracterização dos Sistemas

3.2.1 Reator com predominância de bactérias OHO – R2

A hipótese desse reator para predominância de organismos heterotróficos ordinários consiste em características operacionais simples destinadas ao crescimento de uma biomassa que cresce de forma rápida num ambiente continuamente aerado, gerando os organismos mais comuns no sistema de lodo ativado. As condições operacionais do reator possuíam operação simples tendo apenas um ciclo (Tabela 3.1) com aeração constante para não permitir condições para os seres acumuladores e desnitrificantes. Esse reator tinha uma idade de lodo de 5 dias restringindo o desenvolvimento de organismos autotróficos. Para lhe atribuir uma vantagem sobre os outros tipos de organismos presentes no sistema de lodo ativado era proporcionado sempre a disposição de material biodegradável, favorecendo o metabolismo rápido dos OHO e evitando um período de fome no reator (*feast-famine*). Conforme as intenções do pré-projeto a construção desse sistema serviria para o grupo como um controle a

fim de que pudéssemos analisar testes respirométricos e realizar avaliações físico-químicas comparativas com os outros lodos.

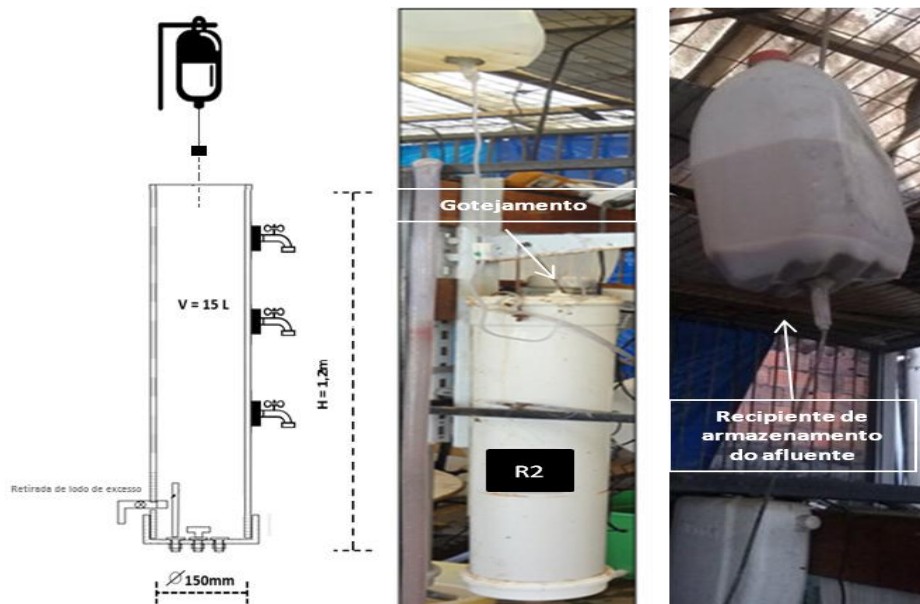
A alimentação desse reator se deu com auxílio de um recipiente alocado na parte superior do reator e provido de uma mangueira dosadora de soro para que fossem gotejados constantemente 3 litros por dia do efluente de UCT rico em material orgânico na forma de acetato e nutrientes suficiente para a produção esperada de lodo. O reator foi construído com PVC, possuindo uma altura de 1,20 metros e um volume de 15 litros como todos os outros reatores RBS (Figura 3.4). Todos os dias era descarregado um volume de 3 L de licor misto, assegurando-se uma idade de lodo de 5 dias. O funcionamento deste sistema ocorreu no período de fevereiro a outubro de 2014.

Tabela 3.1: Fase que ocorre em um ciclo de funcionamento do R2

	C I C L O	AERAÇÃO/ALIMENTAÇÃO	1440	MIN
h	Tempo total (min)			
24,00	1440,00			

Fonte: Próprio Autor.

Figura 3.4: Representação visual e esquemática do sistema R2-OHO



Fonte: Adaptado de Santos, 2014.

3.2.2 Reator com predominância de bactérias PAO – R3 (1ª Fase)

Este reator de batelada sequenciada (RBS) de câmara única teve em suas condições operacionais a alternância de períodos anaeróbios e aeróbios. As zonas alternadas aliadas a uma concentração de fósforo elevada e uma boa disponibilidade de material orgânico estabeleceram uma vantagem competitiva para o crescimento de organismos acumuladores de fósforo (PAO) dentro do ambiente do reator. Este conceito é demonstrado por Sant'Anna Jr (2010) que ressalta a operação de sistema EBPR com baixas razões entre fósforo e matéria orgânica, pode levar à queda da população de organismos que acumulam fósforo. Na Tabela 3.2 pode-se observar valores relatados da razão de fósforo/DQO de sistemas onde predominam PAOs. O sistema R3 apresentou nesta primeira fase uma razão de P/DQO de 0,05 que conforme a Tabela 3.2 é favorável ao crescimento de tais organismos.

Tabela 3.2: Teores de fósforo e DQO de sistemas que predominam os PAOs.

Tipo Reator	Efluente	P(mg/l)	DQO(mg/l)	P/DQO	Referência
RBS	Sintético	15	400	0,038	Smolders et al, 1994.
RBS	Sintético	15	200	0,075	Panswad et al, 2003.
		15	240	0,063	
RBS	Sintético	40	800	0,050	Lu et al, 2006.
RBS		40	600	0,067	
ICPBR	Esgoto	18	428	0,042	Tanwar et al, 2008.
RBS	Sintético	10	250	0,040	Wang et al, 1998.
			400	0,025	
RBS	Agroindustrial	89	2255	0,039	Obaja et al, 2003.
		150	3970	0,038	

RBS- Reator Batelada Sequencial, ICPBR – *Intermittent Cyclic Process Bioreactor*.

Fonte: Sant'Anna Jr (2010).

No funcionamento desse reator a fase de alimentação ocorria no período anaeróbio, atribuindo uma vantagem essencial para os seres acumuladores de polímeros intracelulares que são capazes de metabolizar AGV sem a presença de aceptor de elétrons externo (Oxigênio ou nitrato). O sistema tinha idade de lodo de 5 dias, mantida através de descargas diárias de lodo. Foi construído em PVC, tendo as dimensões de 1,2 m de altura, 0,15 m de diâmetro e um volume útil de 15 litros. Sua alimentação era de fluxo ascendente com um auxílio de um conjunto de bombas descrito na Figura 3.5, o seu descarte era automatizado também com auxílio de bombas Pcx-a (Descrição Figura 3.3), através de uma válvula presente no reator com altura pré estabelecida referente à vazão de descarte. A adição de fósforo externa foi feita através de bomba dosadora na fase anaeróbia com uma vazão

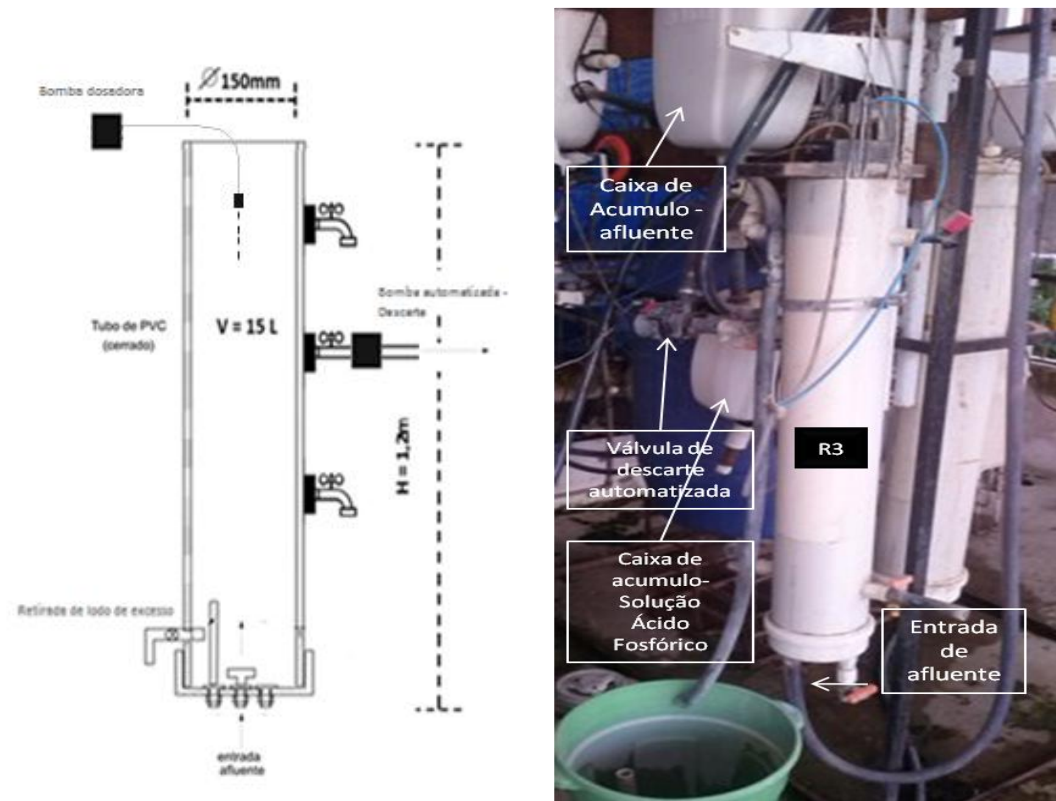
calculada para respeitar as concentrações estabelecidas na tabela 3.0 e o seu armazenamento foi feito em caixa de acumulo que continha a solução de ácido fosfórico. O seu funcionamento ocorreu no período de fevereiro a agosto de 2014.

Tabela: 3.3: Fases que ocorrem em um ciclo de funcionamento do R3 (1° Fase)

C I C L O	Alimentação	2	min.
	Anaeróbio	90	min
	Aeração	246	min
	Sedimentação	20	min.
h	Tempo total (min)		
6,00	360,00	Descarte de efluente	2 min

Fonte: Próprio Autor.

Figura 3.5: Representação visual e esquemática do sistema R3-PAO (1° Fase)



Fonte: Adaptado de Santos, 2014.

3.2.2.1 Reator com predominância de bactérias PAO – R3 (2ª Fase)

A necessidade de uma segunda fase de operação desse sistema foi reconhecida no decorrer dos testes realizados no reator, onde vimos que ainda estávamos dando condições ao aparecimento de seres heterotróficos normais, pois devido a altas concentrações de DQO os seres acumuladores não consumiam todo material orgânico na fase anaeróbia, deixando resíduos de materiais orgânicos para a fase aeróbia podendo assim os seres OHO ainda ter a possibilidade de atividade metabólica no reator. O teste respirométrico do perfil de funcionamento do reator que foi primordial para a decisão das mudanças realizadas para essa segunda fase é demonstrado no capítulo 4 de resultados. É importante salientar que os PAOs utilizam o substrato em sua maioria para conversão em PHA ao invés de utilizá-lo para o seu crescimento, por isto o seu crescimento não está relacionado diretamente com a disponibilidade de substrato (BRDJANOVIC et al., 1997, MURNLEITNER *et al.*, 1997).

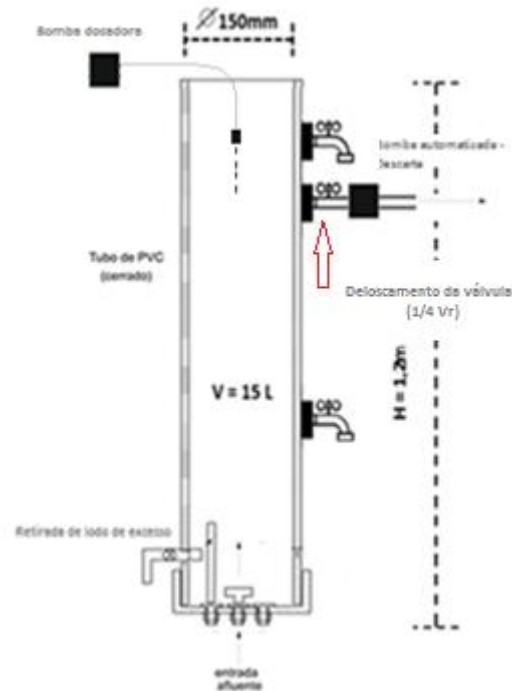
A realização dessa segunda fase foi uma tentativa de buscar o limite máximo da predominância dos organismos acumuladores de fósforo decorrente das condições operacionais impostas pela pesquisa. As principais modificações que ocorreram no reator visando a predominância de PAOs foram: (1) o aumento do número de ciclos para 8 tendo 3 horas cada, diminuindo assim o tempo de aeração, (2) Diminuição do volume de batelada de cada batelada de 7,5 L(2/4Vr) para 3,75 L(1/4Vr), garantido uma vazão de 30 L por dia, (3) Redução da concentração de DQO para 400mg/l, tendo assim uma redução na carga orgânica apresentada na primeira fase, $800 \text{ mg/l} * 4 \text{ (ciclos)} * 7,5 \text{ L} = 24 \text{ g DQO/dia (1}^\circ \text{ FASE)}$, $400 \text{ mg/l} * 8 \text{ (ciclos)} * 3,75 \text{ L} = 12 \text{ g DQO/dia (2}^\circ \text{ FASE)}$, (4) A razão do afluente P/DQO ficou igual a 0,1. As outras condições operacionais foram mantidas conforme a primeira fase, ocorrendo o funcionamento desta fase no período entre agosto e novembro de 2014.

Tabela 3.4: Fases que ocorrem em um ciclo de funcionamento do R3 (2º Fase)

C I C L O 1	Alimentação	2 min
	Anaeróbio	90 min
	Aeração	66 min
	Sedimentação	20 min
	Descarte de efluente	2 min
h	Tempo total (min)	
3,00	180,00	

Fonte: Próprio Autor.

Figura 3.6: Modificação estrutural do reator R3- PAO (2ª FASE)



Fonte: Próprio Autor.

3.2.3 Reator com predominância de bactérias GAO – R4 (1ª Fase)

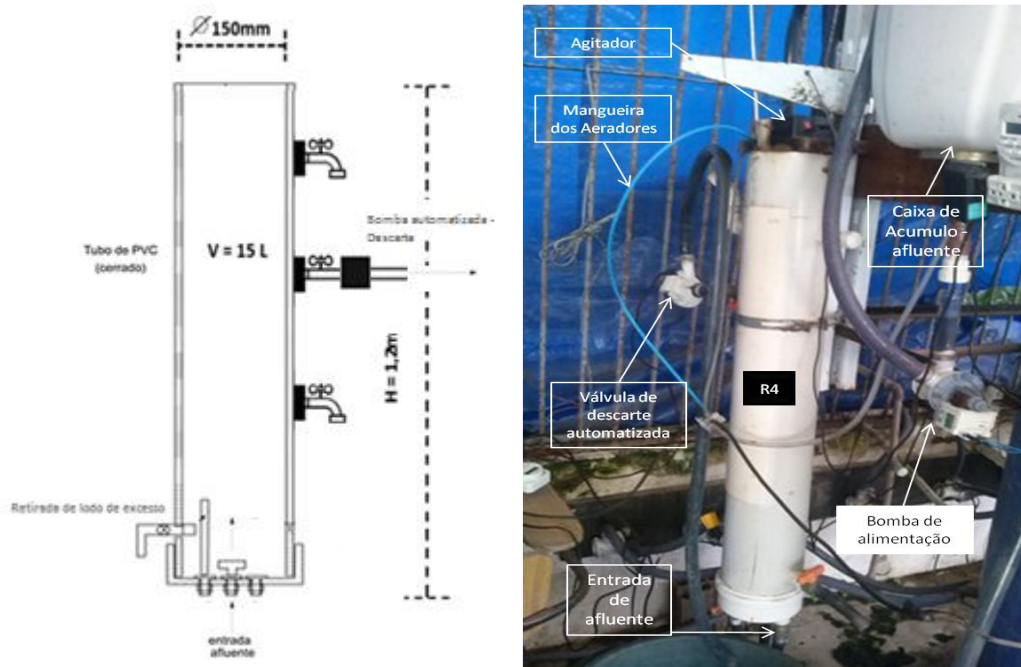
O reator R4 de câmara única funcionou com condições operacionais idênticas ao R3 com a alternância de períodos anaeróbios e aeróbios, cujos ciclos estão representados na Tabela 3.5, diferindo apenas na concentração de fósforo no reator que tinha níveis mais baixos, pois a hipótese de predominância de GAO era baseada no princípio de estudos recentes, onde sistema que tem a operação que se assemelham com EBPR e tem baixas concentrações de fósforo promovem o estabelecimento de microrganismos que acumula glicogênio (SANT'ANNA JR, 2010). A razão P/DQO presente no afluente foi de 0,0025, tendo como hipótese que a baixa concentrações de fósforo, aliada a zonas alternadas com a alimentação ocorrendo em período anaeróbio, permitiriam uma vantagem para o desenvolvimento dos GAOs. O sistema tinha idade de lodo de 5 dias e foi construído em PVC, tendo as dimensões de 1,2 m de altura, 0,15 m de diâmetro e um volume útil de 15 litros. Sua alimentação era de fluxo ascendente com um auxílio de um conjunto de bombas descrito na Figura 3.7, o seu descarte era automatizado também com auxílio de bombas Pcx-a, através de uma válvula presente no reator com altura pré estabelecida referente à vazão de descarte. O seu funcionamento ocorreu no período de fevereiro a agosto de 2014.

Tabela 3.5: Fases que ocorrem em um ciclo de funcionamento do R4 (1ª Fase)

C I C L O		Alimentação	2	min.
		Anaeróbio	90	min
		Aeração	246	min
		Sedimentação	20	min.
h	Tempo total (min)	Descarte de efluente	2	min
6,00	360,00			

Fonte: Próprio Autor.

Figura 3.7: Representação visual e esquemática do sistema R4-GAO (1ª Fase)



Fonte: Próprio Autor.

3.2.3.1 Reator com predominância de bactérias GAO – R4 (2ª Fase)

Decorrente aos reatores R3 e R4 se assemelharem bastante em condições operacionais e partilharem da mesma automação de alimentação e devido ao fato que ainda estávamos dando condições do aparecimento de seres heterotróficos normais, decorrente as altas concentrações de DQO , onde os seres acumuladores não consumiam todo material orgânico na fase anaeróbia, deixando resíduos de materiais orgânico para a fase aeróbia podendo assim os seres OHO ainda ter a possibilidade de atividade metabólica no reator, houve a necessidade

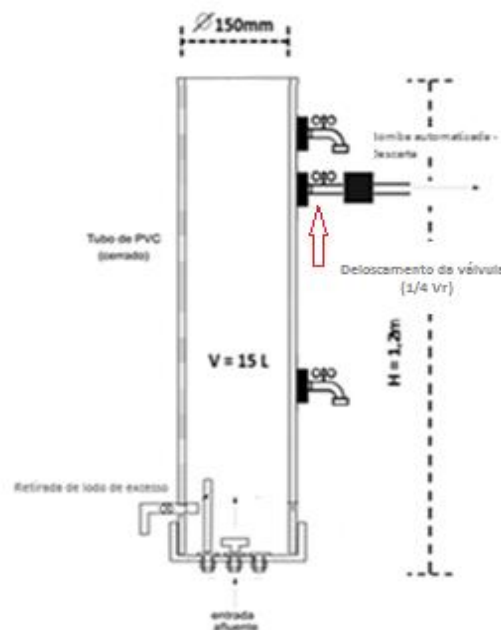
também de modificação do R4-GAO. Ocorrida as seguintes modificações no reator: (1) o aumento do número de ciclos para 8 tendo 3 horas cada, diminuindo assim o tempo de aeração, (2) Diminuição do volume de batelada de cada ciclo de 7,5 L(2/4Vr) para 3,75 L(1/4Vr), garantido uma vazão de 30 L por dia, (3) Redução da concentração de DQO para 400mg/l, tendo assim uma redução na carga orgânica apresentada na primeira fase, 800 mg/l *4 (ciclos) * 7,5 = 24 g DQO/dia (1° FASE), 400 mg/l * 8 (ciclos) * 3,75 = 12 g DQO/dia (2° FASE), (4) A razão do afluente P/DQO ficou igual a 0,005. As outras condições operacionais foram mantidas conforme a primeira fase, ocorrendo o funcionamento desta fase no período entre agosto e novembro de 2014.

Tabela 3.6: Fases que ocorrem em um ciclo de funcionamento do R4 (2ª Fase)

C I C L O 1		Alimentação	2	min
		Anaeróbio	90	min
		Aeração	66	min
		Sedimentação	20	min
h	Tempo total (min)	Descarte de efluente	2	min
3,00	180,00			

Fonte: Próprio Autor.

Figura 3.8: Modificação estrutural do reator R4- GAO (2ª FASE)



Fonte: Próprio Autor.

3.3 MÉTODOS

Uma vez estabelecido uma predominância de bactérias conforme as condições operacionais impostas nos reatores, R2- OHO, R3- PAO e R4-GAO, procedia-se a caracterização desses lodos através da determinação de constantes estequiométricas, cinética e de sedimentabilidade. Diferentes estudos já colocaram em ênfase a determinação de tais constantes para culturas predominantes como demonstrado na tabela 2.7.

Para a determinação das constantes avaliadas na pesquisa foram feitos alguns procedimentos para a obtenção de dados que respeitaram as seguintes descrições:

(1) Estequiometria:

(a) Fração catabolizada (f_{cat}): Esta fração é determinada pela respirometria e é igual à razão entre o consumo de oxigênio exógeno quando se adiciona uma batelada de substrato rapidamente biodegradável (acetato) com uma DQO conhecida a uma amostra de lodo.

(b) Razão DQO/SVS (f_{cv}): Esta constante é determinada simplesmente pela razão da demanda química de oxigênio e o os sólidos suspensos voláteis de uma amostra de lodo. Estes testes são padrões e são realizados através de análises físico-químicas.

(c) Coeficiente de Rendimento (Y): A determinação desta constante é a partir da fração catabólica que é igual $f_{cat} = 1 - Y \cdot f_{cv}$, conforme metodologia implementada por Van Haandel e Catunda (2014), calculando assim diretamente o valor do coeficiente de rendimento de uma amostra de lodo.

(d) Fração de fósforo (f_p): Esta fração é determinada diretamente através da relação entre a concentração de fósforo presente no lodo e a concentração dos sólidos suspensos voláteis de uma amostra de lodo. Para obtenção do teor de fósforo no lodo a amostra de volume conhecido passa por um processo de centrifugação para a separação do licor misto do lodo presente na amostra e subsequentemente são realizados testes padrões físico-químicos.

(e) Razão SVS/STS: Esta fração é determinada diretamente dos testes de concentração de sólidos em suspensão voláteis e sólidos em suspensão totais, ambos testes padrões físico-químicos.

(f) Razão P lib./ DQO acum.: Esta razão é determinada com o valor máximo de liberação de fósforo e o valor de DQO sequestrada de uma amostra de lodo em um ambiente anaeróbio, estes valores são obtidos através do teste de biodesfosfatação.

(2) Cinética

Para determinação da cinética de utilização do material orgânico pelo lodo foram utilizadas técnicas respirométricas conforme metodologia de Van Haandel e Catunda (2014).

(a) constante de utilização do material orgânico

Para podermos estimar a constante de utilização do substrato pelo lodo ativado, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$k_{ms} = \frac{\left(\frac{TCO_{exo\ med}}{f_{cat.}}\right) \times \frac{24h}{dia}}{X_a} \text{Equação 3.1}$$

Onde:

k_{ms} = Constante de utilização do substrato ($mg.DQO.(mg.X_a.d)^{-1}$);

X_a = Concentração de lodo ativo ($mg.X_a.L^{-1}$);

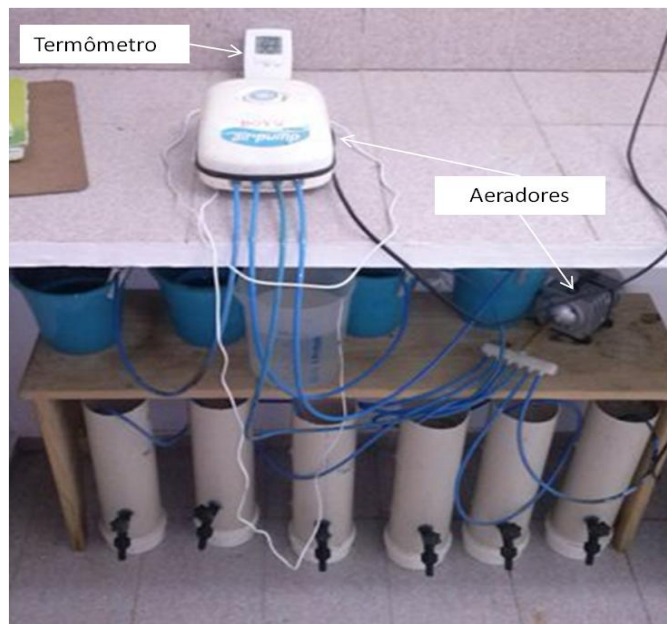
$TCO_{exo\ med}$ = Taxa média do consumo de oxigênio exógeno encontrada no teste respirométrico ($mg.L^{-1}.h^{-1}$);

$f_{cat.}$ = Fração catabolizada (-).

(b) constante de decaimento bacteriano

Para obtenção de dados da constante de decaimento foi colocado uma batelada de lodo dos diferentes reatores com aeração contínua sem disponibilidade de alimento e observou-se a mineralização das bactérias em função do tempo mediante testes de sólidos conforme metodologia de Van Haandel e Marais (1999). Níveis de temperatura do líquido foram monitorados através de termômetro digital, no qual amostras de lodos com um volume conhecido foram submetidos a aeração constante conforme demonstrado na figura 3.9.

Figura 3.9: Esquemática do teste de decaimento



Fonte: Próprio Autor.

A constante de meia saturação não será explicitada neste texto, pois não se tem ainda na literatura uma metodologia concreta e eficaz para a determinação de tal constante para lodo que apresentem organismos acumuladores.

(c) Constantes de sedimentabilidade

A terceira relação de dados obtidos na pesquisa é referente às constantes de sedimentabilidade que pode ser determinadas por testes padrões utilizando o método dinâmico ou estático conforme metodologia de Van Handel (1999). Dentro da metodologia utilizada são obtidas as constantes de compressibilidade (k) e velocidade não estorvada (V_0) através de uma interação de cálculos que envolve a equação de Vesilind, demonstrada logo abaixo:

$$V = V_0 \cdot e^{-k \cdot X_t} \text{ Equação 3.2}$$

Onde:

V = Velocidade de sedimentação em zona ($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$);

V_0 = Velocidade não estorvada ($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$);

k = Constante de compressibilidade ($\text{L} \cdot \text{g}^{-1}$);

X_t = Concentração do lodo ($\text{gSST} \cdot \text{L}^{-1}$).

De forma sucinta e para melhor descrever as constantes determinadas nesta pesquisa foram criadas as tabela 3.7, 3.8 e 3.9 que explicitam o principal teste realizado para a obtenção de determinadas constantes destacando as suas principais referências.

Tabela 3.7: Constantes de Sedimentabilidade.

Características	Símbolos	Unidade	Metodologia	Referências
Compressibilidade	k	l/g	método dinâmico ou estático.	Leitão et al. (2004), Van Haandel et al.(1999).
Velocidade não estorvada	vo	m/h		

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 3.8: Constantes Cinéticas

Características	Símbolos	Unidade	Metodologia	Referências
Constante de utilização	Km	mgDQO/mg/d	Testes respirométricos	Van Haandel et al.(2014).
Constante de decaimento	b	Dia-1	Teste físico-químico ou Teste respirométrico	Van Haandel et al.(2014).

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 3.9: Constantes Estequiométricas

Características	Símbolos	Unidade	Metodologia	Referências
Razão P/STS	P/STS	mgP/mgSTS	Testes físico-químicos	APHA et al. (2012).
Razão SVS/STS	SVS/STS	mgSVS/mgSTS	Testes físico-químicos	APHA et al. (2012).
Razão P _{lib.} /DQO _{acum.}	P / DQO	mgP / mgDQO	Teste de biodesfosfatação com testes físico-químicos.	APHA et al. (2012).
Fração catabólica	Fcat	-	Testes respirométricos	Van Haandel et al.(1999).
Razão DQO/SVS	Fcv	mgDQO/mgSVS	Testes físico-químicos	APHA et al. (2012).
Coef. de rendimento	y	mgSVS/mgDQO	Equação matemática Feat= 1- Yp.Fev.	Van Haandel et al.(1999).

Fonte: Próprio Autor.

3. 3.1 Testes Respirométricos

Técnicas respirométricas vêm sendo aplicadas amplamente no controle e operação de estações de tratamento, principalmente na tecnologia que envolve sistemas de lodo ativado, sendo um importante indicador da velocidade com que os processos metabólicos se desenvolvem. Dentro da pesquisa esta ferramenta foi fundamental para a determinação de diferentes constantes como demonstrado nas Tabelas 3.8 e 3.9. A metodologia utilizada na pesquisa é um método clássico descrito por Van Haandel e Catunda (1982) no qual são feitas medições da taxa de consumo de oxigênio (TCO) de forma semi-contínua com períodos alternados de aeração seguidos de não aeração, respeitando as equações apresentadas anteriormente para obtenção das constantes.

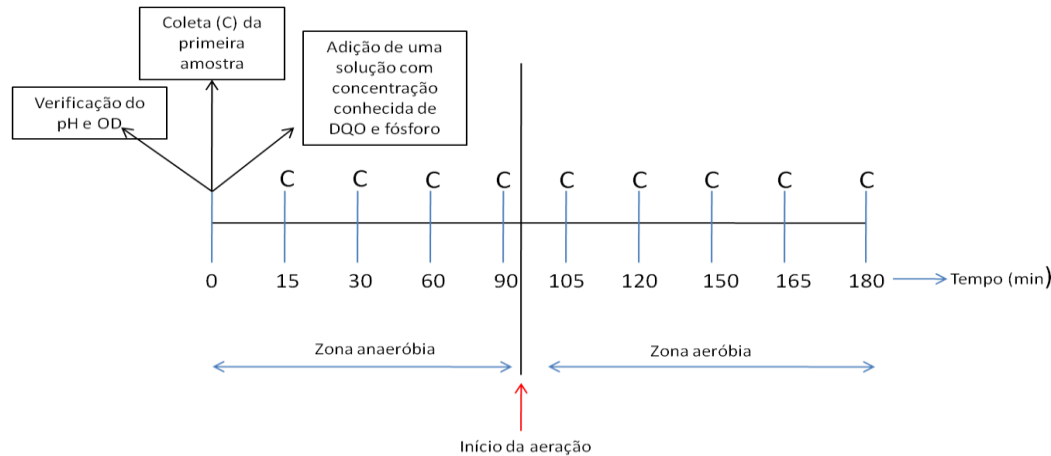
3. 3.2 Testes de Biodesfosfatação

Esse teste tem o objetivo de averiguar o comportamento de uma amostra de lodo em ambiente anaeróbio observando através de análises físico-químicas o consumo da parcela de material orgânico consumido na forma de DQO e a liberação de ortofosfato conforme o tempo. Em ambiente aeróbio verifica-se o consumo continuado da DQO e se caso no lodo existir poli-p observa-se o fenômeno do “luxury uptake” já explicado anteriormente no texto (Capítulo 2). O exercício prático do teste requer o monitoramento do pH e do oxigênio dissolvido para sua boa execução, pois tais condições operacionais influenciam diretamente no mecanismo de liberação e sequestro de Polifosfato no meio através do metabolismo bacteriano.

A Figura 3.10 foi construída no intuito de descrever os procedimentos elaborados no teste, onde inicialmente havia a verificação do pH e OD de uma amostra de lodo, após isto era adicionado uma solução com concentrações conhecidas de DQO e fósforo, para podermos verificar através de testes físico-químicos a reação do lodo de acordo com o tempo. Conforme o tempo, eram coletadas amostras do lodo que imediatamente eram centrifugadas a 2.500 rpm durante 10 minutos e posteriormente filtradas, com o intuito de garantir que o lodo fosse separado do licor misto dessa amostra, evitando assim uma reação continuada do substrato pela biomassa. Com o licor misto eram realizadas análises físico-químicas de DQO, ortofosfato e nitrato, para traçarmos um perfil das possíveis reações do lodo em conformidade com o tempo na zona anaeróbia e aeróbia. O teste era realizado com uma amostra de lodo de 3

L respeitando o volume de coleta de 300 ml (10% do volume total), onde nos 10 pontos coletados eram retirados 30 ml em cada momento, como exposto na Figura 3.10.

Figura 3.10: Esquematização dos procedimentos que ocorrem em amostra de lodo no teste de biodesfosfatação.



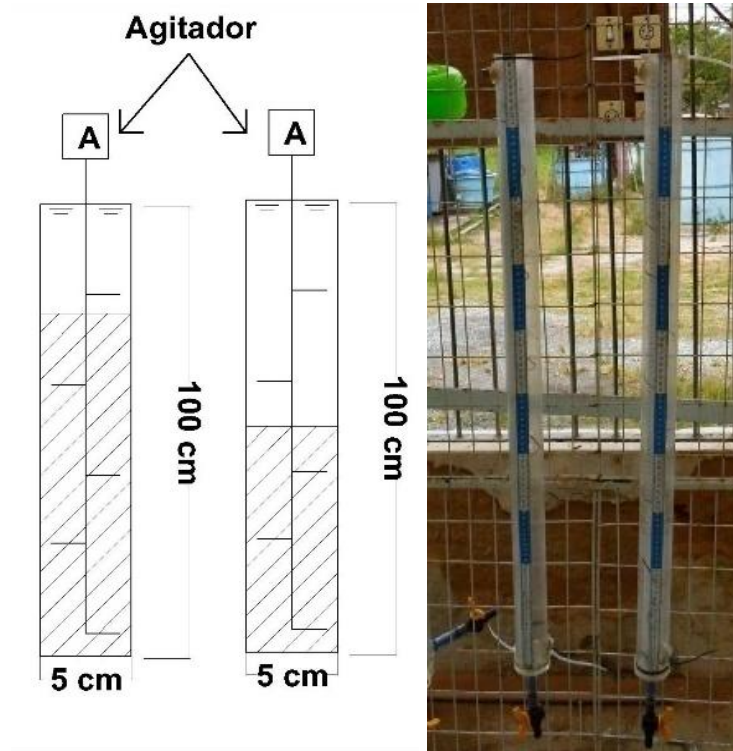
C-Coleta de 30 ml da amostra.

Fonte: Próprio Autor.

3. 3.3 Testes de Sedimentabilidade

Os testes de sedimentabilidade elaborados na pesquisa foram feitos no método estático conforme metodologia descrita por White (1975) e aperfeiçoada por Van Haandel & Marais (1999). Conforme metodologia eram retiradas amostras de lodo dos sistemas estudados em uma quantidade compatível para obter um volume de 2 litros de lodo concentrado. No início do teste a amostra era homogeneizada, cautelosamente para evitar danos na estrutura dos flocos, após isso a amostra era introduzida a coluna de decantação até a altura do nível ideal para início do teste. Em seguida, as leituras da altura da interface foram realizadas durante 30 minutos, em intervalos de 1 em 1 minuto. No decorrer do procedimento retirava-se o conteúdo da coluna de decantação e coletava-se uma amostra para caracterizar a concentração de lodo. O conteúdo da batelada anterior era novamente homogeneizado e diluído em uma proporção de $\frac{3}{4}$ de lodo e $\frac{1}{4}$ de efluente do próprio reator, para preparar uma nova batelada e assim proceder novamente a leitura, com uma mistura de concentração de lodo diluída. A parte estrutural utilizada para realização dos testes estão ilustradas na Figura 3.11 que demonstra as colunas utilizadas produzidas em acrílico transparente, com um volume de 2 L, altura de 1 m e diâmetro interno de 5 cm, ambos equipadas com um agitador síncrono de baixa rotação (4/5 rpm) (PAULA,2014).

Figura 3.11: Parte estrutural utilizada nos testes de sedimentabilidade



Fonte: Paula, 2014.

3.3.4 Análises Físico-Químicas

Para auxiliar na obtenção das constantes e monitorar os contextos ambientais que envolviam os sistemas foi necessária a realização de análises físico-químicas. Semanalmente eram obtidos dados de pH, oxigênio dissolvido e temperatura dos reatores de forma a se obter informação para manter uma condição ideal para o desenvolvimento das bactérias conforme condições operacionais preestabelecidas. As análises físico-químicas auxiliaram diretamente na obtenção do valor de diferentes constantes (Testes de Biodesfosfatação, Testes de Sedimentabilidade, Teste de decaimento, dentre outros), caracterização do desempenho dos reatores, balanço de massa do material orgânico conforme metodologia de Van Haandel & Marais (1999), sendo assim uma ferramenta fundamental para obtenção de dados e para a pesquisa. A Tabela 3.12 ilustra os testes físico-químicos que foram importantíssimos para a fundamentação dessa pesquisa, explicitando as suas metodologias e referências.

Tabela 3.10: Testes físico-químicos que foram realizados na pesquisa

Características	Símbolos	Unidade	Metodologia	Referências
Demanda Química de Oxigênio	DQO	mg/l	Titulométrico	APHA et al. (2012).
Nitrogênio Total Kjeldahl	N-NTK	mg/l	Semi-micro Kjeldahl	4500-NTK/APHA et al. (2012)
Nitrogênio Amoniacal	N-NH ₄ ⁺	mg/l	Destilação e titrimétrico	4500-NH ₃ /APHA et al.(2012)
Nitrato	N-NO ₃ ⁻	mg/l	Método UV	4500-NO ₃ -B /APHA et al.(2012)
Nitrito	N-NO ₂ ⁻	mg/L	Colorimétrico diazotização	4500-NO ₂ B /APHA et al.(2012)
Fósforo	Pt/P-PO ₄ ⁻³	mg/l	Espectrofotométrico	APHA et al. (2012).
Potencial Hidrogeniônico	pH	-	Potenciométrico	APHA et al. (2012).
Oxigênio Dissolvido	OD	mg/l	Eletrométrico	YSI MODEL 58
Sólidos	SST/SSV/SSF	mg/l	Gravimétrico	APHA et al. (2012).
Temperatura	T	°C	Termômetro	2550 /APHA et al. (2012)

Fonte: Próprio Autor.

3. 3.5 Observações Microbiológicas

Para uma identificação mais aprimorada sobre a morfologia e as principais características aparentes do lodo foram feitas observações microbiológicas. Essa atividade foi possível graças a uma parceria do grupo liderado por professor PhD. Adrianus C. Van Haandel com o Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomaterias do Nordeste (CERTBIO) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), pertencente ao Departamento de Engenharia de Materiais. A observação da microfauna presente nos diferentes lodos do grupo, foi realizada por meio de um microscópio óptico, marca Hirox, Programa 2d Measure, com imagens registradas em câmera acoplada ao microscópio. Em sua utilização dois tipos de lentes com diferentes ampliações e resoluções foram usadas, de acordo com a característica do lodo, sendo estes: Canhão Mx(G)-2016z Normal X100 com Lente-Mx(G)-2016z, e Canhão Mx(G)-10c com Lente Ol-350(Ii) X350. As ampliações foram

de 100x e 350x, com exceção de uma imagem do sistema R4 (GAO) no qual foi necessária uma ampliação de 1400x, devido à sua coloração ser muito translúcida.

A amostra de lodo foi coletada nos sistemas no fim da etapa aeróbia de um ciclo dos sistemas de bateladas e armazenadas em tubos falcon de 50 ml, foi também centrifugada a 2500 rpm, durante 10 minutos para a sua deposição e depois enviadas para o laboratório para análise. Conforme o CERTBIO, algumas amostras foram analisadas por meio de reflexão (lodo floculento) e outras por transmissão de luz (lodo granular). A intenção das observações microscópicas eram de obter informações mais complementares sobre a formação de flocos em diferentes sistemas de lodo ativado que o grupo focava nas pesquisas e como estas formações estavam vinculadas ao tipo de bactéria presente nos sistemas. Tinha-se também a intenção de averiguar o quanto o lodo obtido pelo nosso grupo se assemelhava ao lodo granular aeróbio que conforme a literatura possui velocidade de sedimentação superior e pode proporcionar processos simultâneos de remoção de nutrientes.

Foram feitas também algumas observações microbiológicas complementares na Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários (EXTRABES), com auxílio do Biólogo Aluizio Gonçalves da Silva. Foi utilizado um microscópio invertido Colema NIB-100 (Figura 3.12), para uma ampliação de imagem de 400x. O intuito desse segundo momento de observações foi uma coleta de imagens complementares da formação de flocos dentro dos sistemas e poder ver possíveis microrganismos que pudessem indicar condições existentes dentro do reator.

Figura 3.12: Foto do microscópio invertido Colema NIB-100



Fonte: Coleman, 2015.

Capítulo 4

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados os dados obtidos no período experimental da pesquisa, no qual foram operados, monitorados e avaliados três sistemas RBS de lodo ativado em suas respectivas fases (descritos no Capítulo 3) , obtendo dados relativos ao desempenho dos reatores, fomentando ações corretivas para o seu bom funcionamento e ajudando na construção de parâmetros importantes como o balanço de massa do material orgânico e a produção de lodo nos sistemas. Foram obtidos também dados que ajudaram na obtenção de constantes, objeto de estudo desse trabalho através de testes específicos como os Testes de decaimento, respirométrico, biodesfosfatação e de sedimentabilidade, por fim foram realizadas algumas observações microbiológicas para fornecer informações adicionais sobre a biomassa estudada. Os dados apresentados nesta dissertação utilizaram em sua maioria o apoio de uma estatística descritiva, explicitando medidas de tendência central em formas de médias, medianas e medidas de dispersão apresentadas pelo coeficiente de variação e desvio padrão, alguns gráficos são expostos em forma de boxplot, utilizando a teoria de outliers para detectar valores discrepantes.

4.2 Desempenho dos Sistemas Operados

Dentro da fase de operação e obtenção de dados foi realizado o monitoramento e a avaliação dos reatores, assim, foram obtidos dados relativos à manutenção como verificação de vazões, monitoramento do pH, oxigênio dissolvido e temperatura, bem como o desempenho quanto à eficiência na remoção de material orgânico e de nutrientes. Estas observações decorrentes da eficiência e controle dos reatores foram fundamentais para indicar um bom funcionamento dos sistemas com a estabilização de lodos distintos e ajudaram também em ações corretivas de operacionalidade que envolveram correções dos níveis de pH, correções das concentrações de soluções, problemas estruturais(sifonamento).

A Tabela 4.1 demonstra os dados do monitoramento dos sistemas referenteS aos parâmetros de temperatura dentro do reator que apresentaram em média pouca variação, conforme literatura já mencionada este parâmetro é colocado em ênfase em diferentes estudos

que ressaltam a disputa e predominância de organismos, porém no trabalho não houve uma variação intencional da temperatura e sim um acompanhamento das temperaturas presente no interior dos reatores no período da manhã em que ocorriam análises específicas dos sistemas, onde os dados obtidos apresentaram pouca divergência entre si, tendo em sua maioria uma faixa de temperatura entre 23 °C a 25 °C. A Tabela 4.1 ilustra também o monitoramento das vazões de entrada obtidas durante o período de coleta de dados.

Tabela 4.1: Valores de Temperatura e Vazões de entrada dos sistemas.

Temperatura (T) e Vazão (Q)		R2(OHO)		R3(PAO)		R4(GAO)	
		T (°C)	Q(L)	T (°C)	Q(L)	T (°C)	Q(L)
1° FASE	Méd.	23	3,0	25	27,8	25	27,1
	Máx.	27	3,0	29	31,0	28	31,3
	Mín.	22	3,0	23	21,8	22	20,0
	DP	1,36	0,00	2,20	2,70	2,06	4,30
	CV	0,06	0,00	0,08	0,10	0,08	0,16
	N	28	28	11	12	11	12
2° FASE	Méd.	-	-	23	32,63	22	34,3
	Máx.	-	-	23	35,50	24	37,8
	Mín.	-	-	21	30,00	21	30,0
	DP	-	-	0,53	2,19	0,88	3,04
	CV	-	-	0,02	0,07	0,04	0,09
	N	-	-	13	5	10	5

Descrição: Méd = Valores médios; Máx = Valores máximos; Mín = Valores mínimos; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; N = número de dados.

Dentre as condições ideais para o desenvolvimento de bactérias distintas o monitoramento do pH e as concentrações de oxigênio dissolvido são critérios de suma importância, pois são seletores biológicos, em que o oxigênio indica zonas anóxicas, anaeróbias e aeróbias que propiciam o crescimento de seres específicos. Referente ao pH, conforme os seus níveis, há promoção ou inibição de processos bioquímicos que ocorrem no reator.

O Potencial Hidrogeniônico foi um dos critérios que mais preocupou na realização de atividades de monitoramento, pois devido à adição de substrato externo para o estabelecimento das concentrações em cada reator, havia uma variação dos seus níveis em curtos períodos de tempo (acredita-se que isto pode ter ocorrido em alguns reatores devido a grande troca de material intracelular no meio ou até devido ao acúmulo de resíduos químicos presente nas substâncias adicionadas), exigindo assim observações quase que diárias do pH e ações corretivas rápidas para manter o ambiente próximo da neutralidade.

Conforme Bassin (2012) é fundamental o monitoramento do pH nos sistemas que visam o desenvolvimento de seres acumuladores, pois este parâmetro influencia diretamente na quantidade de AGV consumido e liberação de polifosfatos pelas bactérias em ambiente anaeróbio.

Os dados referente ao pH foram coletados no fim da fase de aeração de cada ciclo dos sistemas e apresentaram níveis diversos como demonstrado na Tabela 4.2, onde boa parte dos dados permaneceu dentro da neutralidade na faixa de 6,5 a 7,5, e uma minoria ultrapassou essa faixa, mas conforme o dado era recolhido logo era realizada a adição de soluções de Bicarbonato de sódio ou Ácido clorídrico que objetivavam a neutralidade do ambiente. O reator R2 (OHO) apresentou níveis elevados de pH, isto devido a sua alimentação ser rica em nutrientes e especialmente em ácido acético que reage dentro do reator deixando íons hidroxilas na solução, sendo o CO₂ produzido pelo o catabolismo dos microrganismos insuficiente para neutralização do sistema.

A concentração de oxigênio dissolvido foi parâmetro de controle também para a pesquisa, pois não se objetivava dentro do trabalho uma variação intencional, mas sim uma efetiva zona aeróbia dentro dos ciclos dos sistemas que promoviam os processos aeróbios das bactérias. Os dados referentes ao OD apresentado na Tabela 4.2 foram obtidos no final da fase de aeração de cada ciclo dos sistemas e apresentaram concentrações positivas para o desenvolvimento dos processos e mediavam atividades de manutenção dos sistemas. Pode-se ressaltar algo interessante observado nos reatores R3(PAO) e R4(GAO), nos quais eram realizadas atividades de trocas mais frequentes de pedras porosas que fornecia a aeração para o sistema, isto devido a grande aderência da biomassa presente no meio que se acumulava nos cantos dos reatores e obstruía também os poros nas pedras. Na literatura pode-se explicar esse tipo mecanismo através da excreção rica em polissacarídeos de determinados seres que se assemelham aos organismos acumuladores e que facilitam assim a agregação das bactérias em qualquer tipo de material ou organismo (SANT'ANNA JR, 2010).

Tabela 4.2: Níveis de pH e concentrações de OD dos sistemas.

Potencial Hidrogeniônico (pH) e Oxigênio Dissolvido (OD)		R2(OHO)		R3(PAO)		R4(GAO)	
		OD (mg O/L)	pH	OD (mg O/L)	pH	OD (mg O/L)	pH
1º FASE	Méd.	5,55	8,08	6,05	7,44	5,39	7,58
	Máx.	7,23	9,70	8,07	8,67	6,78	8,82
	Mín.	2,46	5,50	4,30	5,84	4,02	5,00
	DP	1,29	0,73	1,23	0,63	0,83	0,90
	CV	0,23	0,09	0,20	0,09	0,15	0,12
	N	15,00	65,00	11,00	60,00	11,00	58,00
2º FASE	Méd.	-	-	5,05	6,76	4,46	7,92
	Máx.	-	-	7,30	7,92	6,90	8,32
	Mín.	-	-	3,46	5,50	3,00	7,11
	DP	-	-	1,79	0,98	1,73	0,49
	CV	-	-	0,35	0,14	0,39	0,06
	N	-	-	4,00	6,00	4,00	6,00

Descrição: Méd = Valores médios; Máx = Valores máximos; Mín = Valores mínimos; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; N = número de dados.

O desempenho dos reatores conforme a eficiência de remoção e quantificação de material sólido foi analisado e exposto nas tabelas 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7. É importante salientar a presença de duas fases nos sistemas, nas quais foram variadas as concentrações do material orgânico e realizadas modificações nas partes estruturais de alguns reatores, com já explicitado no Capítulo 3 seção 3.2.

Como pode ser observado na tabela 4.3, as eficiências de remoção do material orgânico representado pelas concentrações de DQO, obtiveram percentuais acima de 80% o que condiz com a literatura quando trabalhamos com sistemas de lodo ativados. Os reatores se mantiveram estáveis, obtendo uma remoção considerável e propicia para o bom desenvolvimento das bactérias com números de eficiência de remoção de 95% para R2, 87% para R3 em sua primeira fase e 84% para R4 em sua segunda fase, podendo destacar um maior coeficiente de variação no R2(OHO) referente ao seu efluente, isto devido a problemas ocorridos na sedimentabilidade da biomassa (Seção 4.8) causadas pelo desenvolvimento de bactérias filamentosas (Seção 4.9) que prejudicaram a formação de flocos de lodo e deterioraram a qualidade do efluente em curto período de tempo. Medidas de manutenção como a neutralização do pH, o melhor controle de vazão, a retirada periódica de lodo de excesso, a verificação das concentrações de oxigênio foram atividades realizadas para evitar o agravamento desse tipo de situação.

Tabela 4.3: Concentrações afluentes e efluentes de DQO nos sistemas.

DQO (mg/L)		R2(OHO)		R3(PAO)		R4(GAO)	
		Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.
1° FASE	Méd.	7335	387	672	88	672	114
	Máx.	8464	1996	942	139	942	225
	Mín.	3846	44	387	30	387	45
	DP	1254,95	569,87	194,74	35,27	194,74	57,86
	CV	0,17	1,47	0,29	0,40	0,29	0,51
	N	14	14	9	9	9	9
2° FASE	Méd.	-	-	520	100	520	85
	Máx.	-	-	710	294	710	221
	Mín.	-	-	350	36	350	8
	DP	-	-	129,37	81,52	129,37	64,73
	CV	-	-	0,25	0,82	0,25	0,76
	N	-	-	8	8	8	8
Remoção média (%)		94,72		86,87 - 80,83		83,06 - 83,60	

Descrição: Méd = Valores médios; Máx = Valores máximos; Mín = Valores mínimos; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; N = número de dados.

Os parâmetros referentes aos sólidos gerados nos sistemas merecem significativo destaque, pois representam diretamente os agentes do tratamento biológico, além de serem componentes de dados de base para a determinação de constantes cinéticas e estequiométricas. Na Tabela 4.4 são apresentados os resultados obtidos da concentração de lodo total e lodo volátil. Os resultados obtidos para os sólidos para os reatores R3 e R4 não estiverem em conformidade com previsões aproximadas quando se aplicaram modelos de lodo ativado do IWA e o modelo simplificado de Van Haandel & Marais (1999), pois a previsão do modelo matemático produzido era de se obter uma concentração para o R3(PAO) e R4(GAO), bem acima de 1000 mg SVS/L em média de 2500 mg de SVS/l com 3000 mg de STS/l, porém há muito a se elucidar referente a estes seres acumuladores. Para o reator R2 os resultados de sólidos estiveram em conformidade com previsões realizadas de 1000 mg SVS/l.

Os valores obtidos do parâmetro estão expostos na tabela 4.4, na qual podem ser observadas concentrações de SSV do reator R4 (GAO) bem abaixo dos demais e abaixo do que era esperado em sua modelagem no pré-projeto. Isso pode ser explicado pela sedimentabilidade sofrível (Seção 4.8) que apresentaram os reatores onde predominam os GAOs. Segundo Bassin (2012) a estratificação do lodo pode ocorrer em sistemas EBPR, devido principalmente a boa sedimentabilidade apresentada pelos seres acumuladores de polifosfato e a sofrível sedimentabilidade dos seres acumuladores de glicogênio.

O reator R4 como já caracterizado no Capítulo 3 seção 3.2, possuiu um descarte automatizado e conforme sua operação era observado no balde do seu efluente uma maior biomassa era expelida do sistema, o que pode ser explicado pela sua péssima sedimentação e com isso uma parcela considerável de sólidos era retirada junto com o efluente. Todo o dia se tinha a preocupação de dispor essa massa de sólidos novamente no reator, para que se garantisse o volume de retirada de lodo em excesso de 3 litros diário para o estabelecimento dos 5 dias de idade de lodo do sistema.

É importante salientar que uma cultura mista apresenta-se mais forte e instável referente a possíveis intempéries que podem ocorrer no reator e por outro lado um reator que apresente uma colônia pura ou predominante de bactérias está mais suscetível a possíveis condições adversas. Uma indicação dessa afirmação, pode ser vista nos resultados da tabela 4.4, onde o coeficiente de variação das concentrações de SSV apresentou resultados considerados altos.

Tabela 4.4: Concentrações dos Sólidos dos Sistemas.

Sólidos (mg/l)		R2(OHO)			R3(PAO)			R4(GAO)		
		SST	SSV	SSF	SST	SSV	SSF	SST	SSV	SSF
1º FASE	Méd.	1723,12	1114,67	608,46	1637,44	965,22	672,22	833,15	668,50	164,65
	Máx.	4380,00	3160,00	2910,00	5325,00	2375,00	2950,00	1226,00	1136,00	330,00
	Mín.	410,00	60,00	108,00	180,00	126,00	54,00	140,00	118,00	20,00
	DP	976,94	687,56	570,37	1257,71	606,05	728,02	305,80	275,09	88,84
	CV	0,57	0,62	0,94	0,77	0,63	1,08	0,37	0,41	0,54
	N	24,00			18,00			20,00		
2º FASE	Méd.	-	-	-	1051,25	613,50	437,75	670,50	501,50	169,00
	Máx.	-	-	-	1644,00	1158,00	858,00	1160,00	1088,00	246,00
	Mín.	-	-	-	238,00	82,00	100,00	240,00	84,00	72,00
	DP	-	-	-	571,42	443,87	285,11	333,63	371,68	52,51
	CV	-	-	-	0,54	0,72	0,65	0,50	0,74	0,31
	N	-	-	-	8,00			8,00		

Descrição: Méd = Valores médios; Máx = Valores máximos; Mín = Valores mínimos; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; N = número de dados; SST = Sólidos Suspensos Totais; SSV = Sólidos Suspensos Voláteis; SSF = Sólidos Suspensos Fixos.

Para falar do desempenho dos reatores referentes aos parâmetros dos nutrientes fósforo e nitrogênio é importante salientar que devido à necessidade de estudos mais específicos só foi possível a verificação desses nutrientes durante a primeira fase de operação dos reatores, mas de qualquer forma diferentes especulações podem ser feitas com esses dados.

Na Tabela 4.5 pode-se observar as concentrações e percentuais de remoção do nutriente fósforo nos sistemas. Os dados do reator R3(PAO) sugerem a presença dos organismos

acumuladores de fósforo, sendo evidenciados pelo excelente percentual de remoção apresentado. É importante ressaltar que há um possível acréscimo do valor percentual de remoção efetivo nos reatores R2(OHO) e R4(GAO), visto que há uma significativa diluição das concentrações afluentes imediatamente após a entrada do líquido no reator. Esta afirmação pode ser evidenciada quando observamos o percentual de 82% de remoção do ortofosfato no R4, isto devido às baixas concentrações apresentada no afluente e as diluições ocorridas no reator, superestimando este parâmetro visto que, o percentual desse reator não foi tão efeito na remoção do fósforo total. Devemos considerar também a hipótese de que, como o ortofosfato é uma das formas mais simples disponível para o metabolismo biológico tenha sido usado para compor novas células bacterianas.

Os resultados expostos na tabela 4.5 mostram um percentual elevado de remoção do reator R3, evidenciando possíveis atividades de seres acumuladores de polifosfato no reator.

Tabela 4.5: Concentrações do nutriente Fósforo nos sistemas

Fósforo Total (mgP/L)		R2(OHO)		R3(PAO)		R4(GAO)	
		Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.
1º FASE	Méd.	148,0	104,0	38,4	4,6	5,41	4,35
	Máx.	434,0	320,0	40,0	16,0	17,37	17,11
	Mín.	108,0	83,0	4,0	0,3	0,05	0,24
	DP	136,0	167,6	15,7	6,0	5,17	5,42
	CV	0,92	1,61	0,41	1,30	0,96	1,24
	N	9	9	9	9	8,00	8,00
Remoção média (%)		29		88		19	
Ortofosfato (mgP/L)		R2(OHO)		R3(PAO)		R4(GAO)	
		Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.
1º FASE	Méd.	137,0	94,0	37,0	3,6	4,57	0,80
	Máx.	418,0	311,0	43,8	8,2	15,48	3,61
	Mín.	55,5	42,0	29,3	0,1	0,83	0,05
	DP	143,0	190,0	4,9	2,8	4,76	1,26
	CV	1,04	2,02	0,13	0,78	1,04	1,57
	N	9	9	9	9	8,00	8,00
Remoção média (%)		31		90		82	

Descrição: Méd = Valores médios; Máx = Valores máximos; Mín = Valores mínimos; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; N = número de dados;

O desempenho dos reatores referente à parcela do nitrogênio na forma de NTK e NH_4^+ está exposto na tabela 4.6, tendo os dados de concentrações afluentes e efluentes dos sistemas. É importante salientar que os sistemas com predominância de organismos PAO, GAO e OHO não foram operados com condições para promover o processo de nitrificação, pois foi estabelecido a idade de lodo de 5 dias na configuração dos seus reatores, dessa forma o processo de nitrificação não se desenvolveu efetivamente pois a taxa de descarte dos seres autotróficos era maior que a taxa de crescimento líquido, como pode ser visto nos dados. Porém, no planejamento para construção dos reatores na fase de pré-projeto foi utilizado à

metodologia de Van Haandel & Marais (1999), para indicar uma idade de lodo mínima para ocorrência do processo de nitrificação, onde a modelagem indicou que haveria a possibilidade do fenômeno nos reatores a partir de um idade de lodo de 3 dias, isto pode explicar o percentual ainda significativo nos reatores R2, R3 e R4 para índices de remoção apresentados na tabela 4.6.

Acredita-se que as diluições das concentrações afluentes também influenciaram no valor de remoção significativo apresentado pelo R3(PAO), visto que os testes respirométricos (Seção 4.7) não apresentaram atividades significantes para seres autotróficos. Outras hipóteses que podem ser levantadas para essa remoção considerável nos reatores, são da dessorção de amônia e absorção pelos microorganismos, bem como a biofloculação no lodo do nitrogênio orgânico.

Os resultados expostos na tabela 4.6 mostram que no reator R2(OHO) não houve remoção de nitrogênio amoniacal e sim uma produção, visto que no sistema era adicionada ureia e esta foi amonificada dentro do reator, o que resultou em dados do efluente bem maior do que os do afluente.

Tabela 4.6: Concentrações de N-NTK e N-NH₄⁺ nos sistemas.

NTK (mgN/L)		R2(OHO)		R3(PAO)		R4(GAO)	
		Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.
1° FASE	Méd.	332	206	34	16	34	28
	Máx.	942	571	169	78	169	43
	Mín.	101	18	13	3	13	6
	DP	322	204	65	30	65	13
	CV	0,97	0,99	1,91	1,88	1,91	0,46
	N	9	9	9	9	9	9
Remoção média (%)		38		53		18	
NH ₄ ⁺ (mgN/L)		R2(OHO)		R3(PAO)		R4(GAO)	
		Afl.	Efl.	Afl.	Efl.	Afl.	Efl.
1° FASE	Méd.	38	192	19	6	19	18
	Máx.	69	902	150	84	150	79
	Mín.	4,6	0,8	5	2	5	3
	DP	23	236	61	36	61	30
	CV	0,61	1,23	3,21	6,00	3,21	1,67
	N	9	9	9	9	9	9
Remoção média (%)		-		68		6	

Descrição: Méd = Valores médios; Máx = Valores máximos; Mín = Valores mínimos; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; N = número de dados; NH₄⁺ = Amônio; NTK = Nitrogênio Total Kjeldahl.

Os dados referentes as outras parcelas do nitrogênio na forma de nitrito e nitrato dos sistemas estão expostas na tabela 4.7, apresentando os resultados apenas do seu efluente, pois não há concentrações significantes presente nos seus afluentes.

As concentrações mais elevadas de nitrito e nitrato no R2(OHO) indicam a possibilidade da atividade de bactérias autotróficas em determinados períodos de sua operação, como foi previsto essa possibilidade na modelagem no pré-projeto, porém a maioria dos testes respirométricos (Seção 4.7) realizado com o lodo desse reator não apresentou atividades significantes para os seres autotróficos, indicando uma presença não tão marcante desses seres durante o período total de funcionamento do reator R2.

A tabela 4.7 demonstra as baixas concentrações de nitrato e nitrito observadas no R3 e R4 indicam a inatividades dos seres autotróficos no sistema, demonstrando a efetividade da condição operacional de idade de lodo de 5 dias imposta nos reatores como seletor biológico. Estes resultados também fortalecem as hipóteses levantadas anteriormente sobre os níveis de remoção de N-NTK e N-NH₄⁺ desses reatores.

Tabela 4.7: Concentrações de nitrato e nitrito nos sistemas

Nitrito (mgN/L)		R2(OHO)	R3(PAO)	R4(GAO)
		Efl.	Efl.	Efl.
1° FASE	Méd.	8,68	1,20	0,05
	Máx.	18,52	7,18	0,08
	Mín.	0,93	0,04	0,02
	DP	5,98	2,45	0,02
	CV	0,69	2,04	0,38
	N	8,00	8,00	9,00
Nitrato (mgN/L)		R2(OHO)	R3(PAO)	R4(GAO)
		Efl.	Efl.	Efl.
1° FASE	Méd.	34,83	1,89	1,00
	Máx.	63,54	5,81	3,65
	Mín.	2,83	0,35	0,31
	DP	23,96	1,80	1,04
	CV	0,69	0,95	1,05
	N	8,00	8,00	9,00

Descrição: Méd = Valores médios; Máx = Valores máximos; Mín = Valores mínimos; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; N = número de dados;

4.2.1 Balanço de massa do material orgânico dos sistemas

Foi verificado o balanço de massa do material orgânico dos reatores para se ter uma comprovação do consumo e da transformação dos componentes orgânicos, através dos processos bioquímicos promovidos pelos sistemas, em especial a verificação da atividade das

bactérias heterotróficas nos reatores com o objetivo de sua predominância. Conforme já descrito no texto na Seção 2.4.3.1 referente à remoção do material orgânico em sistema de lodo ativados, foi utilizado como metodologia os estudos de Van Haandel e Marias (1999) de acordo com a equação 2.2. Para a formulação do balanço de massa foi também necessário a obtenção de diferentes dados que envolveram a verificação de vazão, análises físico-químicas e testes específicos para obtenção da TCO_c de cada reator.

O respiromêtro foi a ferramenta para obtenção da taxa de consumo para oxidação do material orgânico (TCO_c). Com um teste respirométrico específico era simulado o funcionamento do reator, como demonstrado na Figura 4.1. Simulava-se o funcionamento de um ciclo de operação completo de cada reator, onde através do teste respirométrico eram obtidos dados para calcular a TCO_c conforme equação 4.1.

$$TCO_c = \frac{\Sigma A_{ex}}{t} \quad \text{Equação 4.1}$$

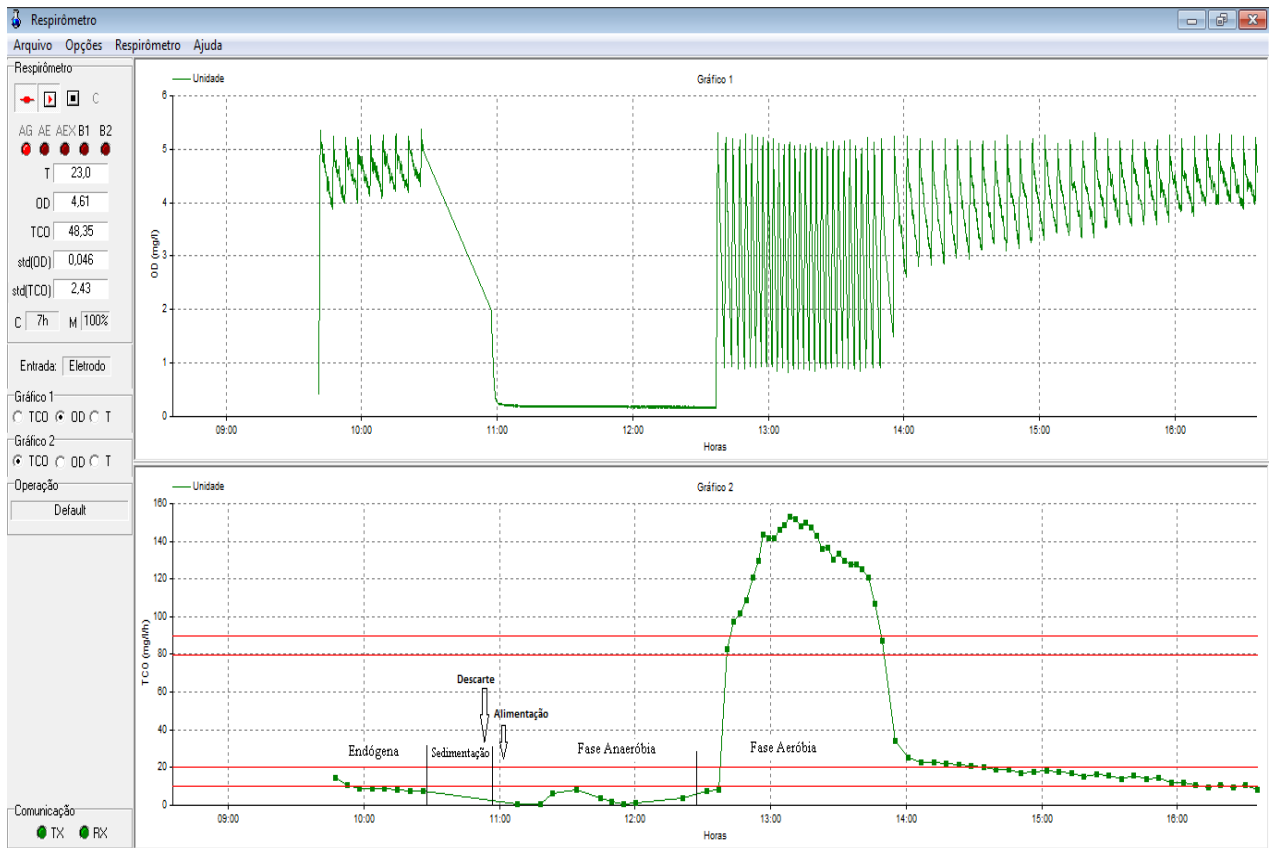
TCO_c = Taxa de consumo para oxidação do material orgânico ;

A_{ex} = Áreas dos trapézios que nos dá o consumo total da parte exógena do teste representando o catabolismo;

t = Duração do ciclo de operação.

A Figura 4.1 demonstra a obtenção da TCO_c do R3(PAOs). Em sua 1ª fase podemos observar a presença dos seres acumuladores no teste representado pela decrescente queda gradativa da TCO até chegar em sua endógena, porém pode-se destacar também a considerável duração de TCO exógena máxima, indicando ainda a presença de organismos heterotróficos ordinários (OHO). A Figura também ilustra o passo a passo da simulação do ciclo de operação do reator neste teste respirométrico.

Figura 4.1: Teste para obtenção da TCOc do R3(PAOs) em sua 1° Fase.



Descrição: TCO = Taxa de consumo de oxigênio; OD = Oxigênio dissolvido; T = Temperatura; C = Calibração; M = Membrana.

Em dias específicos de análises era obtido um conjunto de dados, calculava-se o balanço de massa como demonstrado nas Tabelas 4.8 e 4.9. Os resultados apresentados pela Tabela 4.8 referente ao funcionamento da 1° fase dos sistemas foram totalmente satisfatórios, pois os desvios das médias dos balanços de massa não ultrapassaram 10%, indicando que os dados experimentais foram obtidos com procedimentos corretos e podem ser utilizados com confiabilidade.

Os resultados do balanço de massa são também uma forte indicação para o bom funcionamento dos reatores e que os processos bioquímicos referente ao consumo e transformação do material orgânico ocorreram em uma perspectiva boa. É importante salientar que a considerável variação da DQO nos efluentes dos reatores e de seus sólidos suspensos voláteis indica instabilidade nos sistemas, o que prejudicou os resultados do cálculo do balanço. Para o reator R4 houve um grande esforço operacional, como já comentado, devido ao lodo predominante do sistema apresentar péssima sedimentabilidade.

Tabela 4.8: Balanço do Material Orgânico na 1° Fase dos reatores

Reatores	Data	Volume do Reator	Qa (L/d)	q(L/d)	Sta (mgDQO/l)	Ste (mgDQO/l)	Xv (mg.SVS/l)	TCO _c (mg/l.h)	Fcv (mg.DQO/mg.SVS)	Bo	Média Bo
R2	04/04/2014	15	3	3	7805,8	399,3	1345,0	29	1,57	0,89	0,90
	03/09/2014	15	3	3	7835,49	95,2	1564,0	29	1,57	0,90	
R3	04/04/2014	15	28	3	729,5	104,3	1890	28	1,37	0,97	1,02
	23/04/2014	15	28	3	640,0	140	1498	28	1,37	1,07	
R4	26/02/2014	15	27	3	694,4	180,5	668	22	1,61	0,89	0,92
	04/04/2014	15	27	3	629,5	118,7	855	22	1,61	0,94	

Descrição: Qa= Vazão; q = Volume de lodo de excesso; Sta = Concentração de DQO afluente; Ste = Concentração de DQO efluente; Xv= Concentração de Sólidos suspensos voláteis; TCO_c = Taxa de consumo de oxigênio para oxidação de material orgânico; Fcv = Razão DQO/SVS do lodo; Bo = Balanço de massa.

Na segunda fase do funcionamento dos reatores, R3 e R4 explicitados na Tabela 4.9, os resultados obtidos foram satisfatórios. É importante destacar que o R4 obteve índices médios de desvios de 13%. A tentativa de estabelecer uma crescente predominância dos organismos acumuladores de glicogênio (GAOs) neste sistema, piorou a sedimentabilidade do seu lodo, dificultando sua operação e manutenção, o que prejudicou em resultados do balanço de massa. É importante também destacar na Tabela 4.9 a boa estabilidade apresentada pelo reator R3, apesar das modificações estruturais e operacionais no sistema.

Tabela 4.9: Balanço do Material Orgânico na 2° Fase dos reatores

Reatores	Data	Volume do Reator	Qa (L/d)	q(L/d)	Sta (mgDQO/l)	Ste (mgDQO/l)	Xv (mg.SVS/l)	TCO _c (mg/l.h)	Fcv (mg.DQO/mg.SVS)	Bo	Média Bo
R3	17/09/2014	15	33	3	487,6	74,4	1144,00	17	1,45	0,91	0,94
	24/09/2014	15	33	3	471,00	84,90	1158,00	17	1,45	0,97	
R4	17/09/2014	15	34	3	396,2	38,46	460,0	18	1,87	0,83	0,87
	15/10/2014	15	34	3	350,4	80,29	204,0	18	1,87	0,92	

Descrição: Qa= Vazão; q = Volume de lodo de excesso; Sta = Concentração de DQO afluente; Ste = Concentração de DQO efluente; Xv= Concentração de Sólidos suspensos voláteis; TCO_c = Taxa de consumo de oxigênio para oxidação de material orgânico; Fcv = Razão DQO/SVS do lodo; Bo = Balanço de massa.

4.2.2 Produção de Lodo dos Sistemas

Foi avaliada a produção de lodo considerando para este parâmetro a massa de lodo de excesso volátil produzida por unidade de massa de DQO aplicada diariamente. Os resultados estão expostos na Figura 4.2 em formato boxplot tendo as suas principais referências explicitadas na Tabela 4.10. A teoria de outliers foi utilizada para identificação de valores discrepantes que também estão expostos na figura conjunto com os dados.

Referente aos resultados apresentados pelos sistemas podemos destacar que a maior produção foi do R3(PAOs) com uma mediana referente ao conjunto de dados de 0,29, a baixa razão de SSV/SST apresentada pelo reator (Figura 4.3) já indicava que a produção de lodo seria um valor significativo, porém em sua segunda fase apesar de uma indicação de baixa razão de SSV/SST os valores de produção do R3 caíram consideravelmente isto pode ter ocorrido pela maior instabilidade proporcionada pelo o aumento dos ciclos em sua operação e pela redução da carga orgânica aplicada, esta hipótese ganha força quando observamos que o R4 (GAOs) teve também uma queda considerável em sua produção de lodo (Figura 4.2).

É importante considerar para observação dos dados de produção de lodo que os organismos acumuladores possuem uma característica interessante, decorrente do fato de seu crescimento não estar relacionado diretamente com a disponibilidade de substrato, pois segundo Murnleitner et al, 1997, o uso primário do substrato destes organismos é destinado à recuperação das reservas de polifosfato, glicogênio e para a sua manutenção celular, sendo o seu crescimento resultado da diferença entre a taxa de consumo de PHA e o consumo desse substrato intracelular para os processos que ocorrem no interior de sua célula.

Outra hipótese que pode ser levantada para explicar os níveis baixíssimos de produção de lodo na segunda fase do R4 na Figura 4.2 está ligada a influencia da temperatura para prevalência de GAO, pois como Bassin (2012) ressalta, níveis altos de temperatura favorecem o crescimento de GAO em detrimento de PAO em sistemas EBPR (acima de 30°C), dessa forma obtivemos níveis de temperatura baixos nos períodos de funcionamento o que pode ter limitado o crescimento de GAOs.

Referente ao reator R2, os seus resultados se apresentaram estáveis em todo período de coletada de dados, tendo apenas um valor que foi considerado outlier. No pré-projeto foi avaliado como seria a produção de lodo dos sistemas considerando a modelagem de Van Haandel e Marais (1999) e esperava-se para o R2(OHO) um valor aproximado 0,25 mg SVS/mgDQO, e para os outros reatores que iriam predominar GAOs e PAOs devido as suas

características documentadas em estudos, esperava-se uma produção maior que 0,25 mgSVS/mgDQO o que pode ser observado apenas na 1ª fase do reator R3.

Figura 4.2: Gráfico em formato Boxplot da Produção de Lodo dos Sistemas.

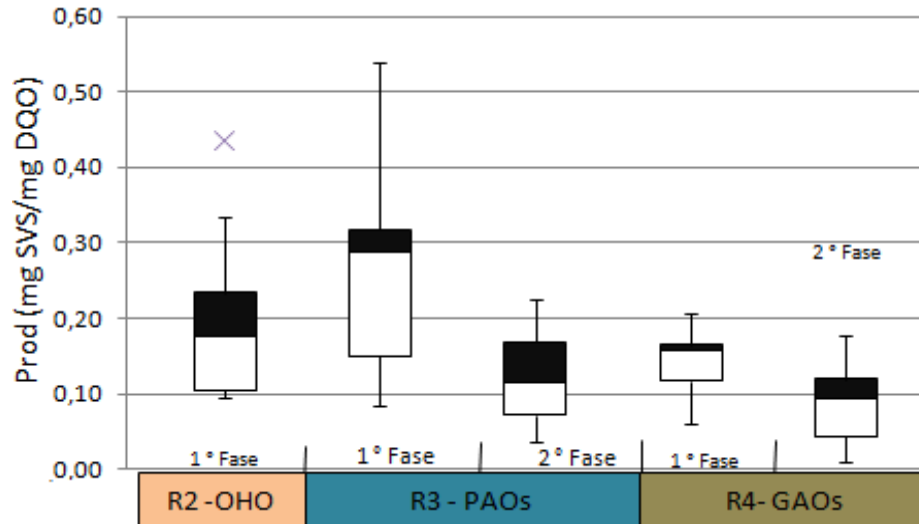


Tabela 4.10: Referência dos dados do boxplot da produção de lodo dos sistemas

Produção de lodo	R2(OHO)	R3(PAOS)	R3(2ª FASE)	R4(GAOS)	R4 (2ª FASE)
Maior valor não outliers	0,34	0,54	0,23	0,21	0,18
Mediana	0,18	0,29	0,12	0,16	0,09
Menor valor não outliers	0,09	0,09	0,04	0,06	0,01
Números de Dados	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00

4.3 Razão de SSV/SST

Outro dado interessante que pode ser retirado dos resultados obtidos dos sólidos dos sistemas é a razão SSV/SST, onde segundo Van Haandel & Marias (1999) pode ser um importante indicativo para a produção de lodo nos sistemas de lodo ativado. Os resultados obtidos para essa constante estequiométrica estão expostos na Figura 4.3 em formato de boxplot tendo seus principais direcionamentos explicitados na Tabela 4.11. Decorrente dos resultados obtidos duas referências foram utilizadas, uma para indicar a predominância de organismos heterotróficos convencionais tendo o valor de 0,80 para a razão SSV/SST segundo Van Haandel (1999) e a outra para indicar a predominância de PAOs tendo valor de 0,46 segundo Wentzel et al (1988), dessa forma pode-se observar que os valores medianos desta razão que mais se aproximaram do padrão de Wentzel foi os apresentados pelo o reator R3 que justamente visava a predominância dos seres acumuladores de polifosfato, a razão baixa dessa constante para este reator se deve principalmente a uma considerável fração de material inorgânico na forma de polifosfato. Os demais reatores apresentaram dados bem

aproximados da referência para os organismos convencionais (OHO), o que já era esperado para o reator R2. Destacando que não há na literatura padrões para os GAOs.

Figura 4.3: Razão SSV/SST dos sistemas

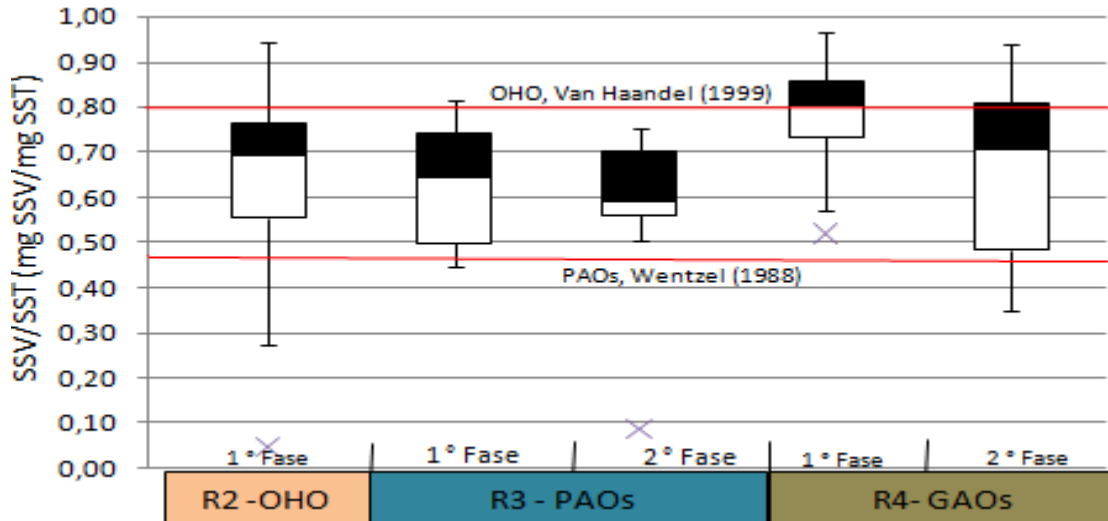


Tabela 4.11: Referência dos dados do boxplot para razão de SSV/SST dos sistemas

SSV/SST	R2(OHO)	R3(PAOS)	R3(2° FASE)	R4(GAOS)	R4 (2° FASE)
Maior valor não outliers	0,94	0,81	0,75	0,97	0,94
Mediana	0,69	0,64	0,59	0,80	0,70
Menor valor não outliers	0,27	0,45	0,24	0,14	0,12
Números de Dados	24,00	18,00	7,00	20,00	8,00

4.4 Razão da DQO do Lodo e os Sólidos Suspensos Voláteis - F_{cv}

A constante estequiométrica F_{cv} obtida através da razão da DQO do lodo e os seus sólidos suspensos voláteis, em alguns cálculos dentro da metodologia implementada por Van Haandel & Marais (1999), é utilizada como fator de conversão para a fração não biodegradável e particulada do material orgânico no afluente dentro da modelagem matemática. Os dados obtidos para a razão f_{cv} estão expostos na Figura 4.4 em formato de boxplot tendo seus principais direcionamentos explicitados na Tabela 4.12. Para melhor compreensão dos resultados é utilizada uma referência de 1,5 mg DQO/ mg SVS para os organismos heterotróficos ordinários conforme Van Haandel e Marais (1999). Dessa forma pode-se observar que a maioria dos reatores permaneceu perto da faixa de referência. Podendo destacar o R4 que têm suas medianas mais distantes dessa faixa, apresentado os valores mais dispersos, isto pode ter ocorrido devido aos problemas já mencionados anteriormente onde sua operação e manutenção eram onerosas. Um considerável número de outliers foi encontrado, demonstrando o quanto é difícil se obter resultados constantes em

reatores biológicos, pois diversas variantes podem influenciar a biomassa presente nos sistemas.

Figura 4.4: Constante de Fcv (DQO do lodo / SSV) dos sistemas

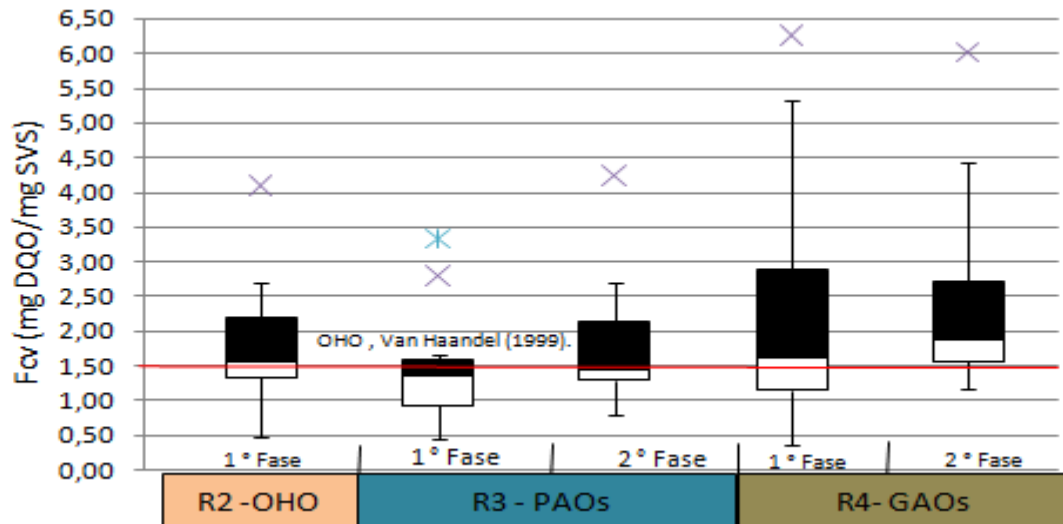


Tabela 4.12: Referência dos dados do boxplot para a constante Fcv dos sistemas

Fcv	R2(OHO)	R3(PAOS)	R3-2 FASE	R4(GAOS)	R4-2FASE
Maior valor não outliers	2,71	1,66	2,70	5,33	4,42
Mediana	1,57	1,37	1,45	1,61	1,87
Menor valor não outliers	0,49	0,45	0,80	0,38	1,17
Números de Dados	17,00	12,00	7,00	11,00	8,00

4.5 Teste de Decaimento Bacteriano

Para a obtenção da constante de decaimento dos reatores foi utilizada a metodologia de Van Haandel (1999) o qual considera um modelo cinético de primeira ordem para a variação da concentração de sólidos orgânicos, determinando o valor de b , através dos seguintes procedimentos:

- Fazer uma série de determinações da concentração de sólidos voláteis em função do tempo de uma batelada de lodo em digestão, na qual um volume conhecido de lodo foi exposto a uma aeração constante, este procedimento foi explicado com maiores detalhes no Capítulo 3 na seção 3.3;
- Plotar os valores experimentais $X_v - X_{v,\infty}$ em função do tempo de digestão num diagrama semi logarítmico;
- A reta de melhor ajuste aos pontos experimentais terá uma declividade igual a $2,3 b$.

É importante ressaltar que nem toda massa de lodo ativo que decai é oxidada, pois uma parcela dessa massa permanece como sólido orgânico não biodegradável chamado de resíduo endógeno. Esta fração é representada pela constante “f” e tem um valor aproximado de 0,20 para os cálculos, resultado este encontrado por diversos pesquisadores como Brodersen e McCarty, 1964; Marais e Ekama, 1976; Dias et al, 1981 (Van Haandel & Marais 1999).

Como já informado na metodologia do teste de decaimento no decorrer dos dias foram coletadas amostras de lodo que estavam sujeitadas a uma aeração constante em mini reatores como demonstrado na Figura 3.12, eram observados os resultados de sólidos suspensos voláteis conforme o tempo para se obter a constante de decaimento, como ilustrado na Tabela 4.13. Neste primeiro teste foram requeridos 30 dias para a sua execução onde infelizmente o resultado do vigésimo sexto dia foi sujeito a erros e retirado da obtenção da constante. Também foram monitoradas as temperaturas que estavam expostas dentro dos mini reatores, tendo seus valores apresentados na Tabela 4.14.

Tabela 4.13: Concentrações de SSV referente os dias do 1º teste de decaimento

Dias	0	4	6	9	13
Data	29.08	01.09	03.09	06.09	10.09
Reatores	Sólidos Suspensos Voláteis - SSV				
R2	1600	562,6	230,2	230,2	215,2
R3	2645	2413,2	2223,1	2028,3	1667,6
R4	1356	1114,2	1047,9	946,0	854,7

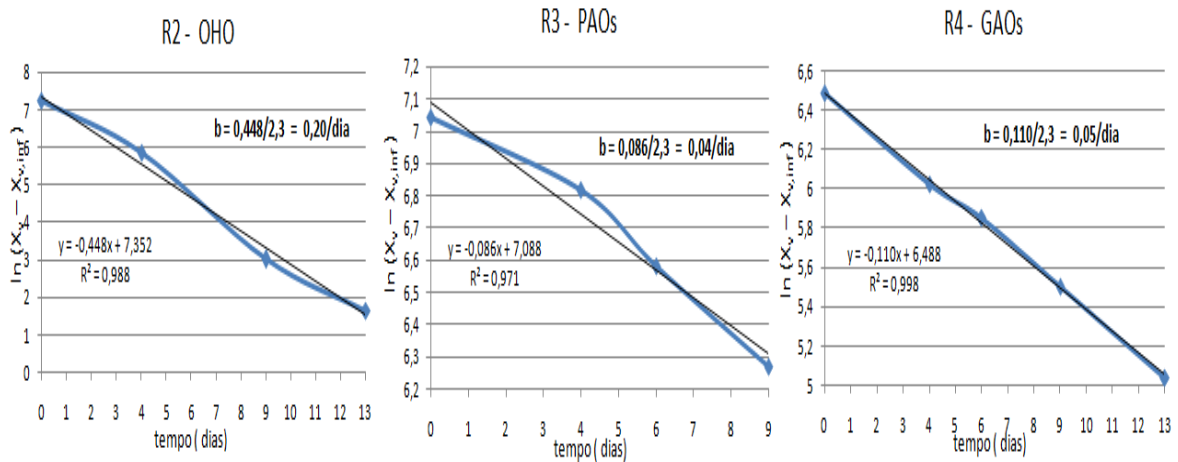
Tabela 4.14: Níveis de temperatura apresentadas durante o 1º teste de decaimento

T (° C)	Valores encontrados	Varição média durante o dia
Máx	29,10	± 2
Méd	26,80	± 2
Mín	25,20	± 2

Após a obtenção dos dados foram plotados os valores experimentais de $X_v - X_{v,\infty}$ em função do tempo num diagrama semi logarítmico respeitando a equação 4.2 para a Figura 4.5, onde para o melhor ajuste da reta foi considerado um valor do fator R quadrado maior ou igual a 0,90, objetivando uma maior significância para o teste. Dessa forma devido a esse critério alguns dados foram desconsiderados para o melhor ajustamento da reta. Com esse procedimento feito, foi considerado a reta de melhor ajuste aos pontos experimentais com uma declividade igual a 2,3 b e obtendo assim a constante de decaimento de cada sistema avaliada como é demonstrado na Figura 4.5.

$$\log (X_v - X_{v,\infty}) = \log [(1-f) X_{ai}] - 2,3 b_{ht} \text{ Equação 4.2}$$

Figura 4.5: Gráficos para obtenção da constante de decaimento no 1º teste



Os resultados do 1º teste de decaimento se apresentaram bastantes animadores, pois conforme as referências apresentada por Van Haandel & Marais (1999), os organismos acumuladores de polifosfato possuem uma constante de decaimento aproximada de $0,04 \text{ dia}^{-1}$, justamente o valor obtido no teste para o reator R3 que visava a predominância de PAOs, e para organismos heterotróficos ordinários uma referência com valor de $0,24 \text{ dia}^{-1}$, onde o resultado apresentado no reator R2 obteve valor aproximado dessa faixa, indicando a sua predominância para organismos OHO conforme esta constante. Referente ao R4 onde não se tem padrões para comparação para GAOs, podemos indicar que o valor de $0,05 \text{ dia}^{-1}$, tem valores aproximados do R3-PAOs, isto devido aos sistemas visarem a predominância de seres acumuladores que decaem ao longo do tempo em percentuais menores.

Foi realizado um segundo teste de decaimento demonstrado na Figura 4.6, visando uma observação mais apurada e especifica do R3 e R4, onde os lodos desses reatores ficaram expostos a uma aeração constante ao longo de 32 dias para a verificação de sua constante de decaimento. Os procedimentos realizados foram os mesmos do primeiro teste respeitando a equação 4.2. Também foram monitoradas as temperaturas expostos dentro dos mini reatores com seus valores apresentados na Tabela 4.16 e as suas concentrações de SVS ilustradas na tabela 4.15.

Tabela 4.15: Concentrações de SSV referente os dias do 2º teste de decaimento

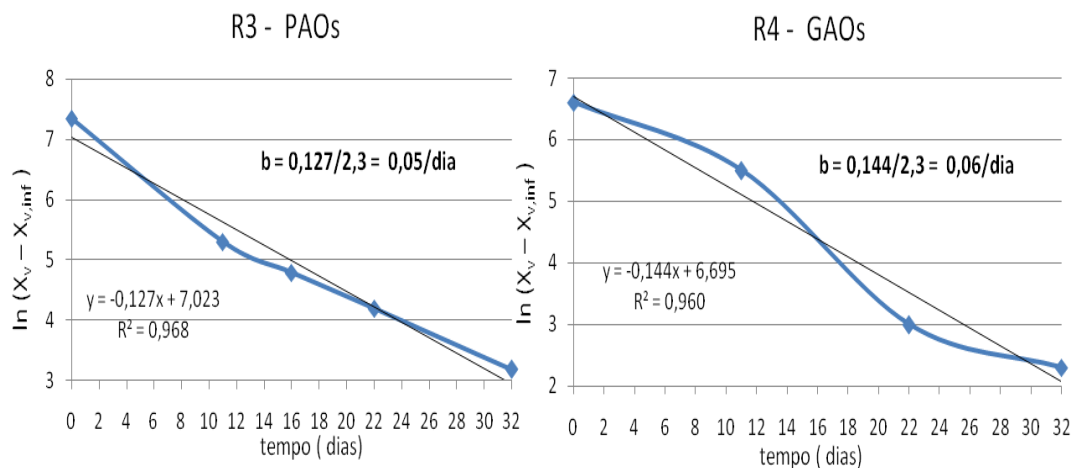
Dias	0	11	16	22	32
Data	20/out	31/out	05/nov	11/nov	21/nov
Reatores	Sólidos Suspensos Voláteis - SSV (mg/l)				
R3	1748,00	400,00	320,00	266,00	224,00
R4	838,00	344,00	132,00	120,00	110,00

Tabela 4.16: Níveis de temperatura apresentadas durante o 2º teste de decaimento

T (° C)	Valores encontrados	Varição média durante o dia
Máx	29,20	± 2
Méd	27,26	± 2
Mín	26,20	± 2

Os resultados neste segundo teste mais prolongado continuaram bastante positivos quando comparamos com as referências estudadas. Os valores ilustrados na Figuras 4.6 não são os mesmos do 1º teste, porém se assemelham bastante, o resultado um pouco maior obtido pode ser explicado pelo pequeno acréscimo da temperatura média que foram expostos os lodos ou até mesmo por critério de aproximação dos cálculos elaborados para obtenção da constante de decaimento.

Figura 4.6: Gráficos para obtenção da constante de decaimento no 2º teste

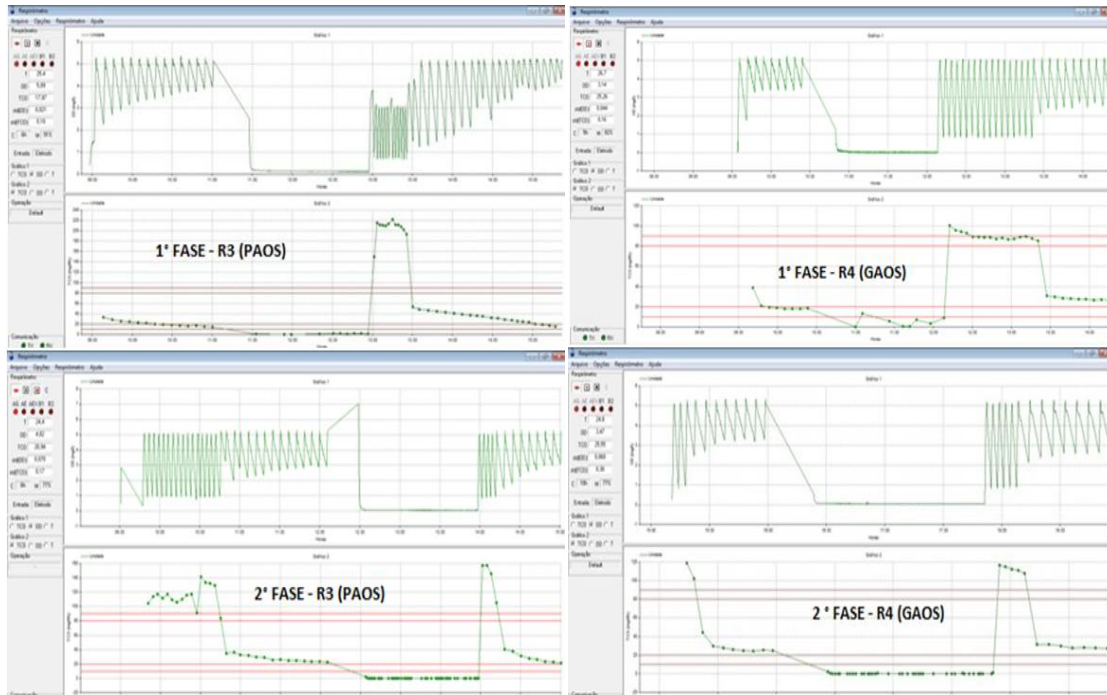


4.6 Testes Respirométricos

Os testes respirométricos permitiram observar ao longo do desenvolvimento da pesquisa, que dentro do reator R3-PAOS e R4-GAOS, ainda estávamos dando condições para organismos heterotróficos normais poderem se desenvolver em sua 1ª fase de operação. Notou-se que na 1ª fase dos sistemas ainda se tinha considerável pontos de TCO exógena máxima depois do período anaeróbio, indicando considerável consumo de material orgânico na fase aeróbia o que poderia promover o desenvolvimento de OHOs. Dessa forma, houve a necessidade do funcionamento de uma 2ª fase nos sistemas, onde foram impostas condições operacionais mais restritas para a predominância das bactérias GAOs e PAOs evitando o

aparecimento de OHOs, como já explicitado na seção 3.2.4.1 e 3.2.5.1. Como exposto na Figura 4.7.

Figura 4.7: Testes respirométricos comparativos entre as fases do R3- PAOs e R4-GAOs.



Os testes respirométricos foram realizados no intuito de observarmos o desenvolvimento dos processos metabólicos de cada lodo e com isso poderemos calcular as constantes como X_a (Concentração de lodo ativo), K_m (Constante de utilização de substrato), F_{cat} (Fração catabólica), F_{ana} (Fração anabólica), Y (coeficiente de rendimento), μ_{max} (Taxa de crescimento de microrganismos máxima) que estão relacionadas aos testes, respeitando a metodologia de Van Haandel e Catunda (2014). Todos os lodos foram submetidos a um teste respirométrico padrão, que utilizava inicialmente acetato de sódio (material rapidamente biodegradável) proporcionando uma concentração de 240 mg DQO/L, para medir o metabolismo de seres heterotróficos, posteriormente foi adicionado cloreto de amônio (proporcionando 10 mgN-NH₄⁺/L) e nitrito de sódio (proporcionando 8 mgN-NO₂⁻/L), isso para medir o metabolismo de seres autotróficos (nitritadores e nitradores). As constantes eram obtidas através de equações específicas presente dentro da metodologia utilizada.

O reator R2 (OHO) apresentou durante todo seu período de operação, um pouco de instabilidade operacional devido a sua péssima sedimentabilidade. Em alguns testes respirométricos, houve momentos de atividades de seres autotróficos, que posteriormente foram inibidos com a retirada do lodo de excesso proporcional a idade de lodo de 5 dias, em

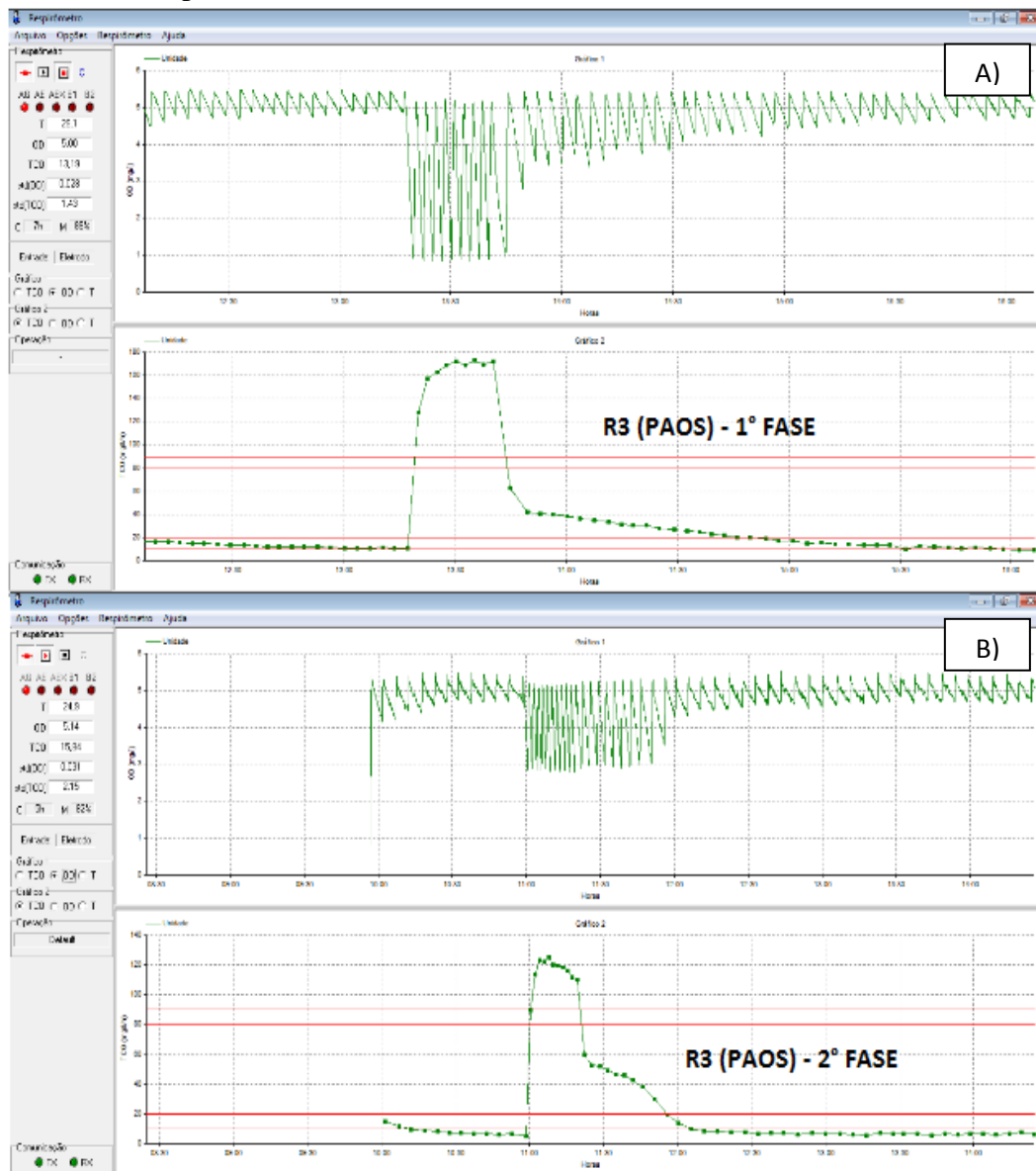
outros momentos podia se indicar atividades de seres acumuladores, isto pode estar relacionado a grande afinidade destes seres com o material rapidamente biodegradável, material este que tinha uma fração significativa devido a adição de ácido acético, como já mencionado na seção 3.2.3. Entretanto a maioria dos testes respirométricos apresentou insignificantes atividades de seres autotróficos e acumuladores, tendo uma boa indicação para predominância dos organismos heterotróficos ordinários, como demonstrado na Figura 4.8.

Figura 4.8: Teste respirométricos habituais encontrados no R2 – OHO.



O reator R3 (PAOs) se apresentou em seus testes respirométricos bastante promissor para a predominância dos seres acumuladores de fósforo em sua 1^o fase, com uma longa e demorada queda gradual da TCO, observada conforme a Figura 4.9 A, porém ainda não tão significativa. Como já mencionado os seres acumuladores podem ser indicados pela queda gradual lenta da taxa de consumo de oxigênio para se atingir a TCO endógena. Na 2^o fase é claro o progresso na predominância desses seres, isto pode ser indicado pelo aumento considerável da TCO exógena na curva que tem uma queda gradual, como ilustrado na Figura 4.9 B. Não houve atividades significantes de seres autotróficos nos testes, é importante salientar que a TCO endógena teve valores bem abaixo da média neste reator, isto pode ser uma característica de reatores com predominância de seres acumuladores.

Figura 4.9: Testes respirométricos habituais encontrados nas fases do R3- (PAOs)

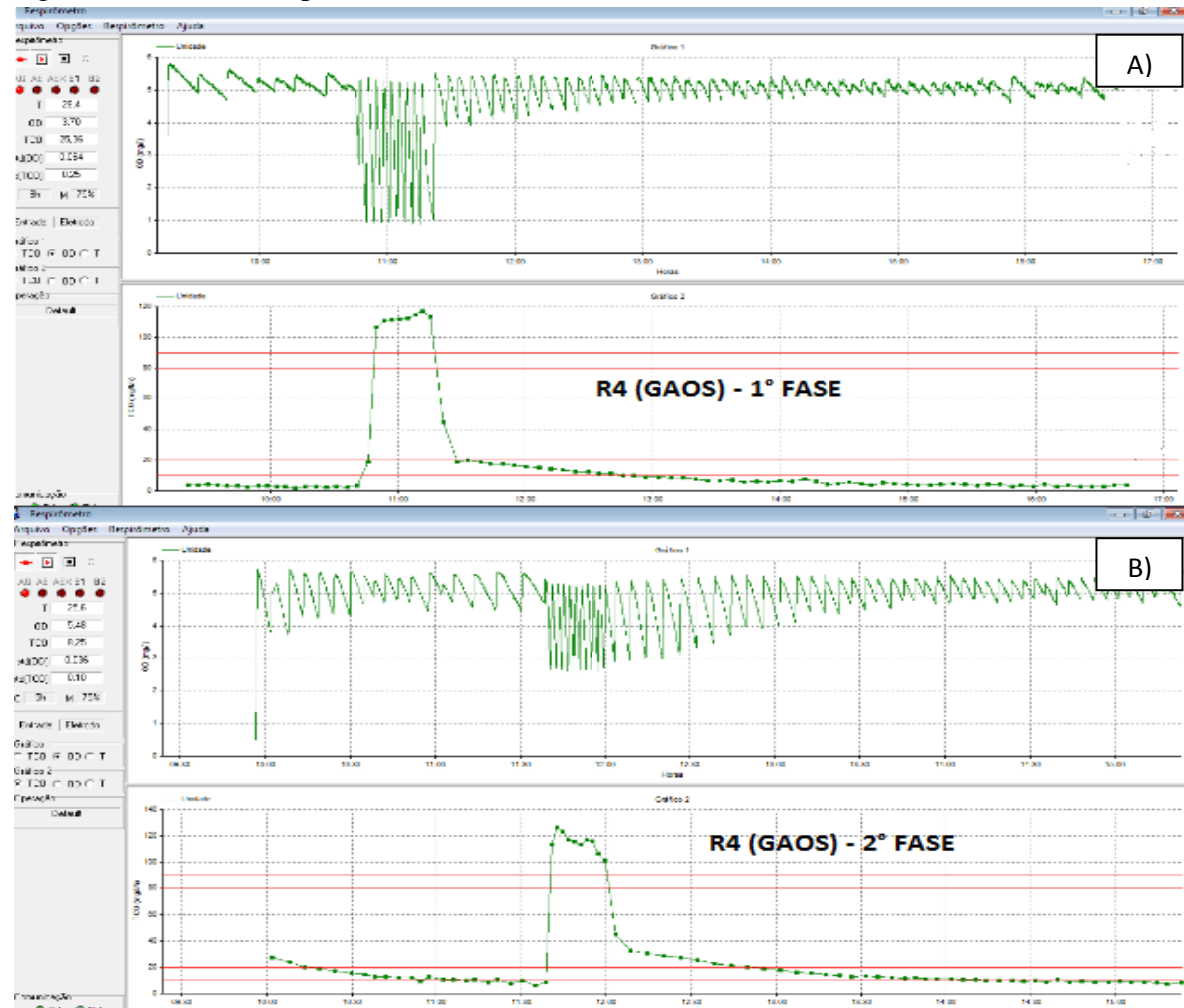


Descrição: (a) Teste da 1ª Fase do R3, (b) Teste da 2ª Fase do R3

O reator R4 (GAOs) apresentou resultados não tão expressivos como o R3. Isto pode estar relacionado as dificuldades apresentadas na manutenção e operação desse sistema, já mencionada no trabalho, porém seus resultados são positivos para um indicativo de predominância de GAOs, como demonstrado na Figura 4.10 A. Nesta figura, na sua primeira fase o reator apresentou uma longa e demorada queda gradual da TCO, indicando a presença de seres acumuladores. Na sua 2ª fase é claro o progresso na predominância desse seres, isto pode ser indicado pelo aumento considerável referente a TCO exógena da curva que tem uma queda gradual, como ilustrado na Figura 4.10 B. É importante observar que esta curva começa expressivamente no topo do gráfico podendo ser um indicativo significante da predominância

do seres acumuladores de glicogênio. Não houve atividades significantes de seres autotróficos nos testes, sendo importante salientar que este reator também apresentou valores bem abaixo da média da TCO endógena, isto pode ser uma característica de reatores com predominância de seres acumuladores.

Figura 4.10: Testes respirométricos habituais encontrados nas fases do R4- (GAOs)



Descrição: (a) Teste da 1º Fase do R4, (b) Teste da 2º Fase do R4

Apesar dos resultados dos testes respirométricos dos reatores R3 e R4 indicarem uma significativa atividade de seres acumuladores, não foi possível a estabilização concreta de GAOs e PAOs nesses lodos, pois ainda foi presenciado atividades dos OHO. Devido à interferência significativa dos OHO nos respirogramas dos reatores R3 e R4, não foi possível se obter resultados representativos das constantes de X_a , K_m e μ_{max} , para tais.

4.6.1 Fração catabólica e anabólica

Estas frações representam o consumo do material orgânico que serve como fonte energética no catabolismo e como fonte material no anabolismo. Os resultados obtidos seguiram as seguintes fórmulas, conforme metodologia de Van Haandel e Catunda (2014):

$$f_{cat.} = \frac{A_{trap.}}{DQO_{apli.}} \quad \text{Equação 4.3 a} \quad ; \quad f_{ana.} = 1 - f_{cat.} \quad \text{Equação 4.3 b}$$

A_{trap} = Área do trapézio obtida no teste respirométrico (mg.O.L^{-1});

DQO_{apli} = DQO aplicada no teste respirométrico (mg.L^{-1});

Os resultados obtidos dos sistemas são apresentados na Figura 4.11, tendo os seus valores de referência do boxplot ilustrados na tabela 4.17. Foi adicionado na Figura 4.13 um padrão de referência para os seres heterotróficos com valores de $F_{cat.} = 0,33$ e $F_{ana.} = 0,66$, conforme Van Haandel & Marais (1999). Em suma pode-se ver que os reatores aproximaram bastante do padrão, devendo destacar a discrepância apresentada pelo R2, isto pode ter sido ocasionada pelos seres autotróficos que tiveram significativa influência nessas frações e não foram considerados nos cálculos.

Figura 4.11: Fração anabólica e catabólica dos sistemas

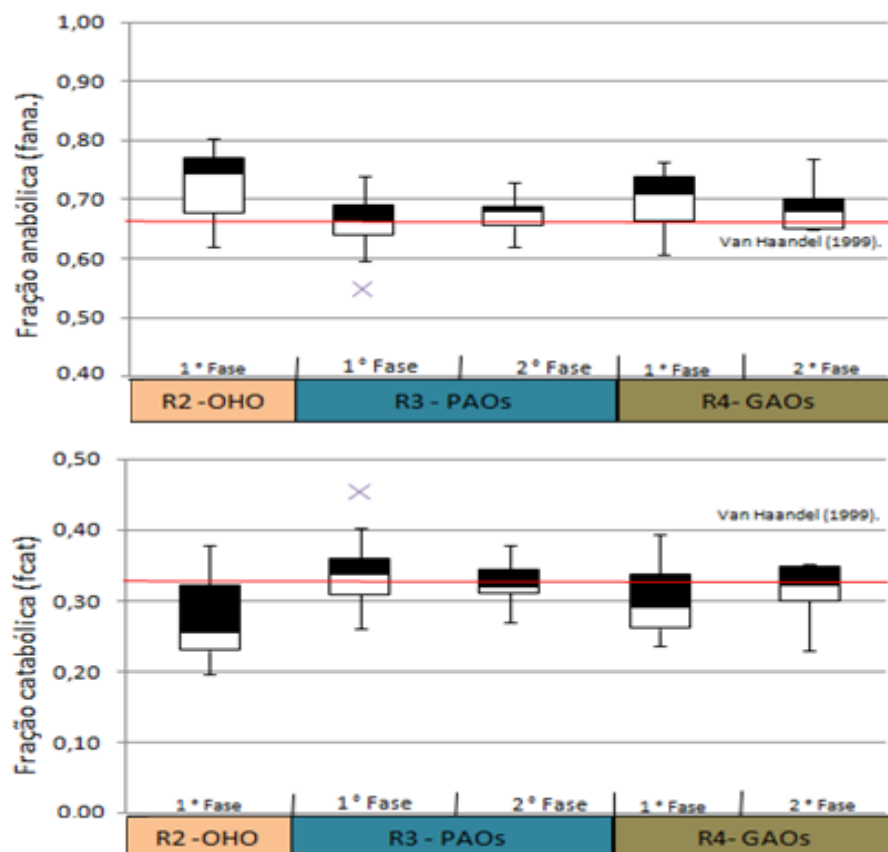


Tabela 4.17: Referência dos dados do boxplot para Fcat. e Fana dos sistemas

Fana.	R2(OHO)	R3(PAOS)	R3-2 FASE	R4(GAOS)	R4-2 FASE
Maior valor não outliers	0,80	0,74	0,73	0,76	0,77
Mediana	0,74	0,66	0,68	0,71	0,68
Menor valor não outliers	0,62	0,60	0,62	0,61	0,65
Números de Dados	17,00	10,00	8,00	12,00	7,00
Fcat.	R2(OHO)	R3(PAOS)	R3-2 FASE	R4(GAOS)	R4-2FASE
Maior valor não outliers	0,38	0,40	0,38	0,39	0,35
Mediana	0,26	0,34	0,32	0,29	0,32
Menor valor não outliers	0,20	0,26	0,27	0,24	0,23
Números de Dados	17,00	10,00	8,00	12,00	7,00

4.6.2 Coeficiente de Rendimento (Y)

Esta constante representa a proporção entre a massa microbiana sintetizada e a massa de DQO metabolizada e seus resultados foram obtidos conforme a seguinte fórmula, de acordo com a metodologia utilizada:

$$F_{cat} = 1 - Y \cdot F_{cv}, \text{ ou seja}$$

$$Y = \frac{1 - F_{cat}}{F_{cv}} \text{ (mg SVS/ mg DQO) Equação 4.4}$$

Pode-se ver na Figura 4.12 os resultados obtidos dos sistemas para a constante Y, tendo os seus valores de referência do boxplot ilustrados na Tabela 4.18. Foi adicionado na Figura 4.12 um padrão de referência para os seres heterotróficos com valores de $Y = 0,45$ (mg SVS/ mg DQO), conforme Van Haandel & Marais (1999). Em suma podemos ver que os reatores se aproximaram bastante do padrão, podendo destacar os valores abaixo da referência que obteve o R4, isto ocorreu devido aos valores altos de F_{cv} que este sistema apresentou durante o período de funcionamento. Por fim é importante salientar que os resultados dessa constante apresentaram um número considerável de outliers, podendo assim ser levantada a hipótese que a constante de rendimento é muito suscetível as variações que podem ocorrer no lodo.

Figura 4.12: Coeficiente de rendimento (Y) dos sistemas

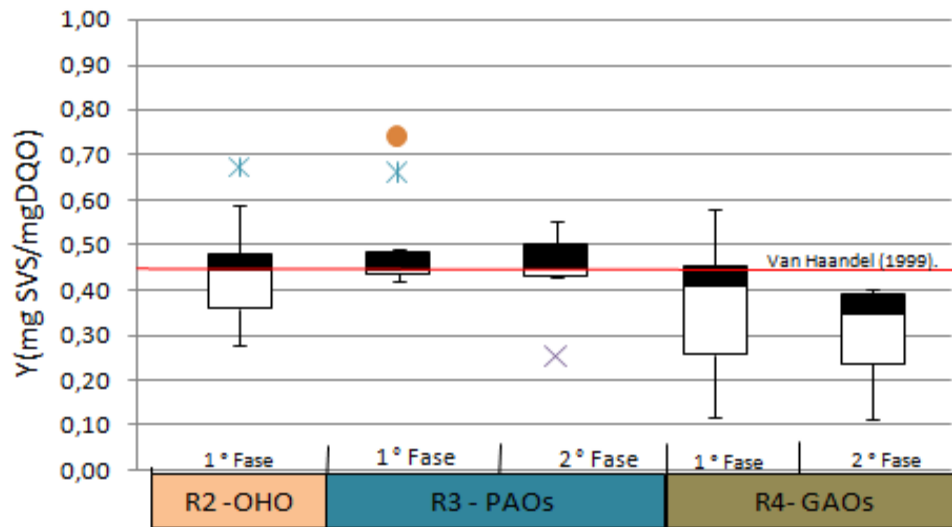


Tabela 4.18: Referência dos dados do boxplot para Y dos sistemas

Y	R2(OHO)	R3(PAOS)	R3-2 FASE	R4(GAOS)	R4-2FASE
Maior valor não outliers	0,59	0,49	0,55	0,58	0,40
Mediana	0,45	0,45	0,45	0,41	0,35
Menor valor não outliers	0,28	0,42	0,43	0,12	0,11
Números de Dados	17,00	10,00	8,00	12,00	7,00

4.6.3 Constante de utilização (K_m), Concentração de lodo ativo (X_a) e Taxa de crescimento de microrganismos máxima (μ_{max})

Estas constantes são de fundamental importância para a modelagem e desenvolvimento do sistema de lodo ativado, entretanto, como já mencionado não foi possível se obter resultados representativos de tais constantes para os reatores R3 (PAOs) e R4 (GAOs), isto devido à interferência pequena, porém significativa dos organismos ordinários heterotróficos nos cálculos. Os resultados obtidos das constantes seguiram as seguintes fórmulas:

A concentração de lodo ativo não pode ser medida diretamente, mas ela pode ser estimada a partir da TCO de uma batelada de lodo quando não há substrato a ser metabolizado

$$X_a = \frac{TCO_{en}}{f_{cv} \cdot b \cdot (1-f)} \text{ mg } X_a / l \quad \text{Equação 4.5}$$

TCO_{en} = TCO endógena obtido no teste respirométrico ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$);

f = fração de lodo ativo que quando decai permanece como resíduo endógeno = 0,2 (McCarty e Brodersen, 1964).

A constante de utilização de substrato expressa a taxa máxima de utilização de material orgânico pelo lodo ativo:

$$k_m = \frac{\left(\frac{TCO_{exo\ med\ .max}}{f_{cat.}}\right) \times \frac{24\ h}{dia} \frac{mgDQO}{mgX_a\ .d}}{X_a} \quad \text{Equação 4.6}$$

$TCO_{med.max}$ = TCO média máxima obtida no teste respirométrico ($mg.L^{-1}.h^{-1}$);

A taxa de crescimento máximo é expressa da seguinte forma:

$$\mu_{\max} = Y \times K_m \quad \text{Equação 4.7}$$

Dessa forma, com os resultados do R3 e R4 desconsiderados, temos a Figura 4.13 demonstrando os valores do reator R2 para as constantes X_a , K_m e μ_{\max} , tendo os seus valores de referência do boxplot ilustrados na Tabela 4.19. Dentro do conjunto de dados obtidos podemos destacar a boa concentração de X_a do reator com uma mediana de 983,10 mg X_a/l , os valores de K_m que obtiveram uma mediana de 12,63 mg DQO/mg $X_a.d$ indicando uma boa atividade metabólica do lodo, pois segundo Van Haandel e Catunda (2014) um lodo que apresentava valores de K_m igual e acima de 10 mg DQO/mg $X_a.d$ tem boa atividade metabólica. Por fim é importante salientar os valores elevados de μ_{\max} que obteve o reator R2 apresentando uma mediana de 4,90 dia^{-1} . Em suma pode-se destacar que estas constantes apresentaram resultados bastante positivos e isto pode estar relacionado a boa qualidade do afluente que foi proporcionado ao reator.

Figura 4.13: Valores das constantes de K_m , μ_{\max} , X_a do R2.

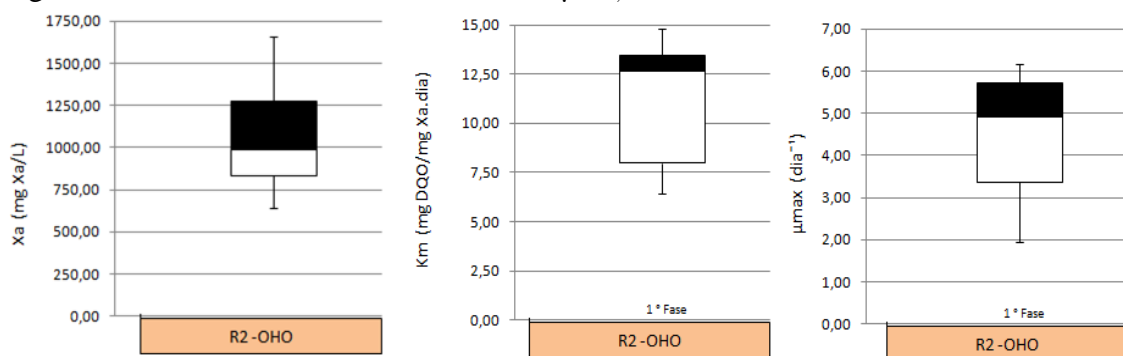


Tabela 4.19: Referência dos dados do boxplot para K_m , μ_{\max} , X_a do R2.

X_a	R2(OHO)	K_m	R2(OHO)	μ_{\max}	R2(OHO)
Maior valor não outliers	1658,75	Maior valor não outliers	14,78	Maior valor não outliers	6,16
Mediana	983,10	Mediana	12,63	Mediana	4,90
Menor valor não outliers	643,15	Menor valor não outliers	6,41	Menor valor não outliers	1,95
Números de Dados	11,00	Números de Dados	11,00	Números de Dados	11,00

4.7 Testes de Bidesfosfatação

Este teste objetou obter a relação de $\text{mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgDQO}_{\text{sequestrada}}$, indicando assim a presença e predominância de organismos acumuladores de fósforo. Diferentes estudiosos como Lopez-Vazquez (2009) e Bassin (2012), consideram este teste o mais simples e objetivo na observação do metabolismo dos PAOs, podendo até substituir análises de biologia molecular, em algumas situações.

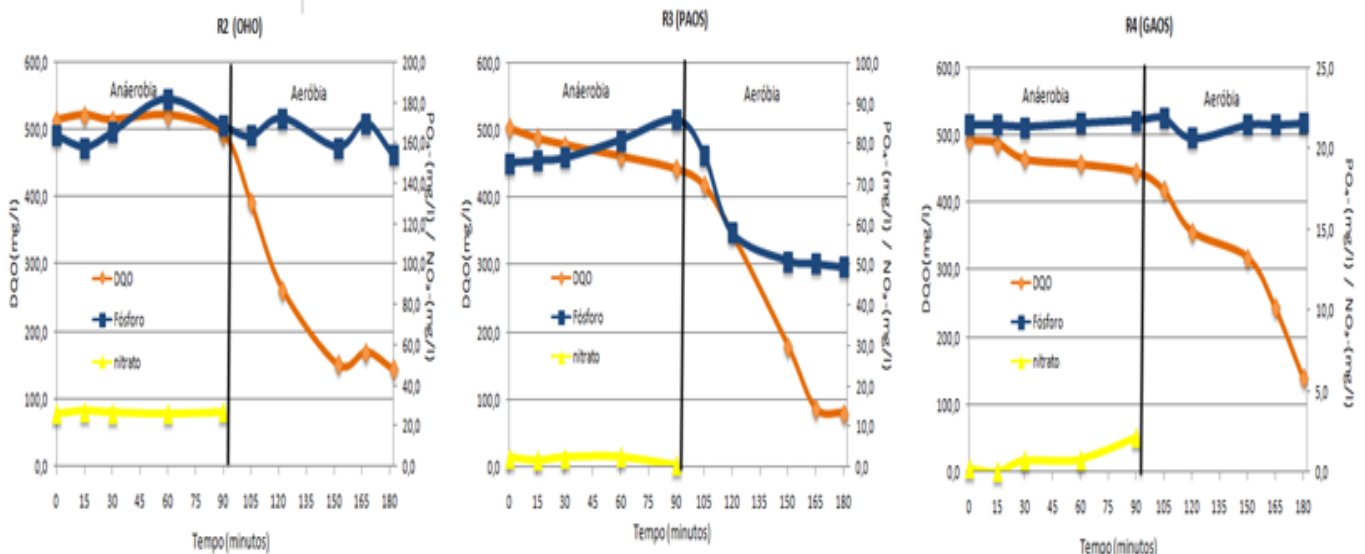
O teste de bidesfosfatação ocorre da seguinte forma, submeteu-se uma amostra de lodo com volume conhecido a um ambiente alternado anaeróbio- aeróbio com a presença de uma concentração conhecida de DQO e Fósforo, e através de análises físico-químicas das amostras retirada desse lodo em diferentes momentos podemos traçar um perfil do fósforo, da DQO e do nitrato conforme o tempo (Figura 4.14), essa metodologia está exposta com mais detalhes na seção 3.3.2 desta dissertação.

Para o sucesso deste teste era necessário tomar algumas precauções na sua execução, onde sempre verificávamos a neutralidade do pH das amostra dos lodos, utilizávamos análises respirométricas para auxiliar a averiguação das concentrações de oxigênio na amostra e observações da taxa de consumo de oxigênio (TCO) e evitando a presença de nitrato na amostra (Interferente no teste), pois o processo da desnitrificação pode mascara o real resultado de quanto de DQO que foi sequestrada pelo seres acumuladores, por que na ausência de oxigênio atmosférico, bactérias desnitrificantes usam o nitrato para oxidar compostos orgânicos.

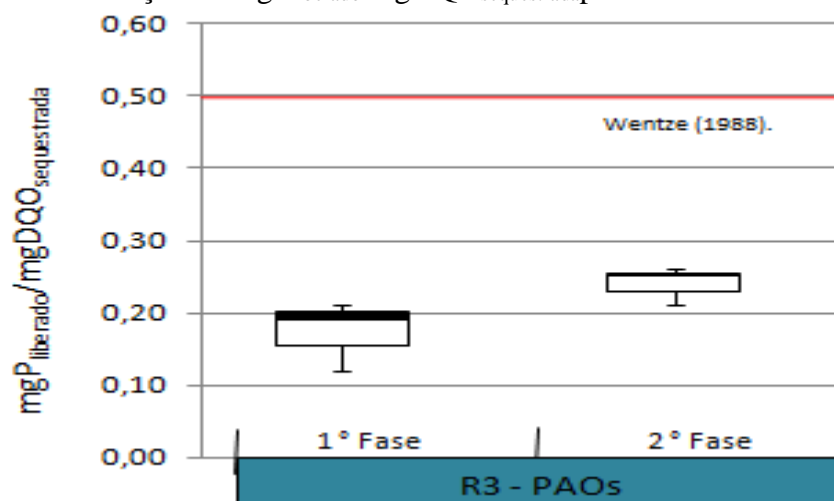
A Figura 4.14 representa os testes habituais de bidesfosfatação que foram obtidos dos sistemas, pode-se observar que o reator R2 apresentou para este teste, quase em sua maioria insignificante atividade de liberação de ortofosfato e insignificante consumo de DQO na sua fase anaeróbia, porém apresentou boa atividade com consumo de DQO considerável na sua fase aeróbia, situação comum de seres heterotróficos ordinários (OHO), que não conseguem sintetizar material orgânico em um ambiente anaeróbio. O reator R3 foi o que apresentou liberação de fósforo mais significativa e um bom consumo de DQO em sua fase anaeróbia, apresentado um bom indicativo da presença de PAOs, pois no ambiente aeróbio houve indicações do fenômeno do “*luxury uptake*”, na figura 4.14 é ilustrado um teste de sua primeira fase. Os resultados desse teste foram bastante animadores para o reator R4, pois como pode ser visto na Figura 4.14 ilustrando o funcionamento de sua primeira fase, o sistema no teste de bidesfosfatação apresentou um consumo de DQO considerável em

ambiente anaeróbio sem apresentar liberação de ortofosfato, o que é justamente o mecanismo apresentado pelos organismos acumuladores de glicogênio (GAOs), nas suas duas fases de funcionamento os resultados foram semelhantes. Os níveis de nitrato foram controlados durante os testes de forma que não intervisse em resultados significativos para a relação $\text{mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgDQO}_{\text{sequestrada}}$, isto devido ao fenômeno da desnitrificação.

Figura 4.14: Testes de biodesfosfatação habituais apresentado pelos sistemas



A Figura 4.15 apresenta o reator R3 em suas duas fases, pois foi o único que obteve valores significativos nos testes de biodesfosfatação para a relação $\text{mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgDQO}_{\text{sequestrada}}$, tendo os seus valores de referência do boxplot ilustrados na Tabela 4.20, indicando assim a presença de seres acumuladores de polifosfato (PAOs) neste sistema. Pode-se observar que somente o R3, apresentou resultados positivos para esta relação, sendo uma boa indicação da inatividade dos PAOs nos reatores R2 e R4 e da atividade significativa dos PAOs no R3, como era previsto no pré-projeto. Para análise da Figura 4.15 é exposto uma referência de $0,5 \text{ mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgDQO}_{\text{sequestrada}}$ que Wentzel obteve em 1988 em uma colônia pura de seres acumuladores de polifosfato em contextos atuais podemos citar Santos (2014) que obteve $0,69 \text{ mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgDQO}_{\text{sequestrada}}$, sendo importante destacar que os resultados do trabalho não se aproximaram desses valores, entretanto é visível que o reator R3 obteve valores consideráveis, indicando uma maior presença dos PAOs neste sistema, sendo também importante destacar o aumento dos valores apresentados na segunda fase do R3 com os valores apresentado uma mediana de $0,25 \text{ mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgDQO}_{\text{sequestrada}}$, demonstrando que as modificações operacionais surtiram efeitos.

Figura 4.15: Valores da relação de $\text{mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgDQO}_{\text{sequestrada}}$ para os sistemasTabela 4.20: Referência dos dados do boxplot para relação $\text{mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgDQO}_{\text{sequestrada}}$

$\text{mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgDQO}_{\text{sequestrada}}$	R3(PAOS)	R3-2 FASE
Maior valor não outliers	0,21	0,26
Mediana	0,19	0,25
Menor valor não outliers	0,12	0,21
Números de Dados	3,00	3,00

4.7.1 Teor de fósforo no lodo

O teor de fósforo no lodo é um importante indicativo da presença de seres acumuladores de polifosfato em um sistema, onde um lodo biológico convencional contém em torno de 2,5 por cento de fósforo e um lodo com predominância de PAOs pode chegar conforme estudos documentados por Van Haandel & Marais (1999) a 38 por cento de fósforo.

A Figura 4.16 ilustra os resultados para os teores de fósforo encontrados nos sistemas de lodo ativado estudados nesta dissertação, tendo os seus valores de referência do boxplot na tabela 4.21. Para análise da Figura é exposta a referência de Van Haandel & Marais (1999) para seres heterotróficos normais com valores de 0,025 mgP/SVS . O reator R2 obteve resultados acima da referência de 0,025, isto pode ter acontecido devido a formação de precipitado de fósforo que foi formado no reator através da adição de uma solução de ácido fósfórico não pura, que pode ter se misturado com o lodo e influenciado nesses níveis mais elevado de teor de fósforo no lodo, essa hipótese é levantada, pois esperava-se para este reator valores mais aproximados da referência utilizada. São bastante evidentes os níveis altos de fósforo no lodo do reator R3 em todo o seu período de funcionamento, indicando assim sempre uma boa atividade dos seres acumuladores de polifosfato, podendo destacar também o

aumento considerável dos níveis de fósforo no lodo em sua segunda fase, indicando assim aspectos positivos para as condições operacionais modificadas nesta fase. O reator R4 apresentou durante todo o seu período de funcionamento níveis baixos da referência exposta, acredita-se que estes valores são um bom indicativo para a predominância de GAOs, pois seus testes respirométricos apresentaram considerável atividade de seres acumuladores mas o teor de fósforo em seu lodo permaneceu durante sua operação sempre com níveis baixos, como pode ser visto na Figura 4.16.

Figura 4.16: Teores de fósforo nos lodos dos sistemas

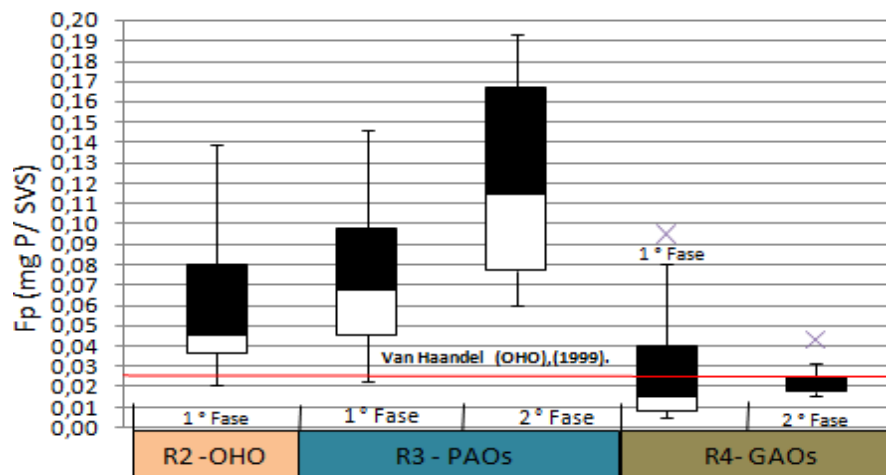


Tabela 4.21: Referência dos dados do boxplot para os teores de fósforo dos sistemas

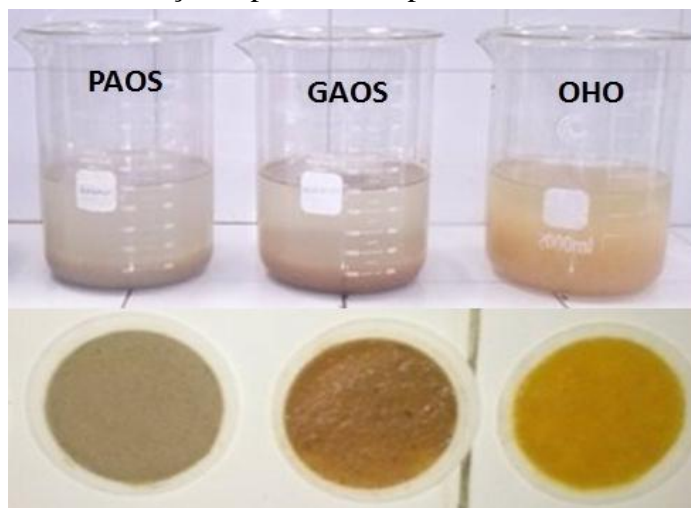
Fp	R2(OHO)	R3(PAOS)	R3-2 FASE	R4(GAOS)	R4-2FASE
Maior valor não outliers	0,14	0,15	0,19	0,08	0,03
Mediana	0,05	0,07	0,11	0,02	0,02
Menor valor não outliers	0,02	0,02	0,06	0,01	0,02
Números de Dados	17,00	10,00	8,00	12,00	7,00

4.8 Testes de Sedimentabilidade

Este teste foi realizado no modo estático para se obter as constantes k (constante de compressibilidade) e V_0 (Velocidade não estorvada) da Equação de Vesilind para avaliar a sedimentabilidade dos sistemas. O parâmetro físico de sedimentabilidade é de fundamental importância para o desenvolvimento de projetos de sistema de lodo ativado, pois especificamente define a unidade de separação de líquido e sólido, e também com estes valores bem definidos podemos ter um importante indicativo de como está a formação de flocos de lodo dentro do reator, algo fundamental para o seu bom funcionamento. Dentro do período de obtenção de dados dos sistemas foi observado algo bastante peculiar nos lodos

estudados, onde devido às condições operacionais impostas objetivando a predominância de diferentes seres, os lodos apresentaram uma distinção física muito evidente: a sua cor, como demonstrado na Figura 4.17, onde é exposto lodos com colorações cinza(R3 (PAOs)), marrom(R4 (GAOs)) e laranja(R2 (OHO)), isto devido as condições operacionais impostas aos reatores e a possível predominância dos seres que cada um objetivava desenvolver.

Figura 4.17: As diferentes colorações apresentadas pelos sistemas



Os resultados obtidos nos testes de sedimentabilidade são ilustrados na Figura 4.18, tendo os seus valores de referência do boxplot ilustrados na Tabela 4.22. Foi adicionado na Figura, padrões de referência para melhor análise, considerando os valores de k como bons próximos a 0,31 l/g e ruins próximos a 0,46 l/g e para os valores de V_o como bons próximos a 11 m/h e ruins próximos a 6 m/h, conforme metodologia de Van Haandel & Marais (1999). Com isso, podemos observar na Figura 4.18, que o reator R2 não apresentou resultados bons para os testes de sedimentabilidade, isto pode ter ocorrido em alguns momentos de sua operação devido ao aumento desproporcional das bactérias filamentosas como é demonstrado na seção 4.9 deste trabalho. O reator R3 apresentou resultados não tão bons na sua primeira fase de funcionamento tendo medianas de $k = 0,53$ l/g e $V_o = 14,42$ m/h, obtendo velocidade inicial boa, mas uma compressibilidade ruim. No período de funcionamento de sua segunda do R3 fase houve uma melhora significativa obtendo medianas de $k = 0,40$ e $V_o = 18,53$ m/h. Já o reator R4 apresentou em todo seu período de funcionamento sedimentabilidade ruim, tendo valores medianos de $k = 0,58$ l/g e $V_o = 4,43$ na sua primeira fase. Está situação considerada de ruim sedimentabilidade se agravada na operação da sua segunda fase do R4 onde era visada uma maior predominância dos GAOs, isto já era esperado, pois conforme

BASSIN (2012), os organismos acumuladores de glicogênio têm essa característica de permanecer em partes superiores dos reatores em sistemas EBPR, devido a sua péssima sedimentabilidade. No estudo de BASSIN (2012) é até proposto uma situação de segregação de lodo nos sistemas, para disputa de PAOs e GAOs, devido às características apresentadas de cada bactéria.

Figura 4.18: Valores das constantes de sedimentabilidade k e V_o dos sistemas

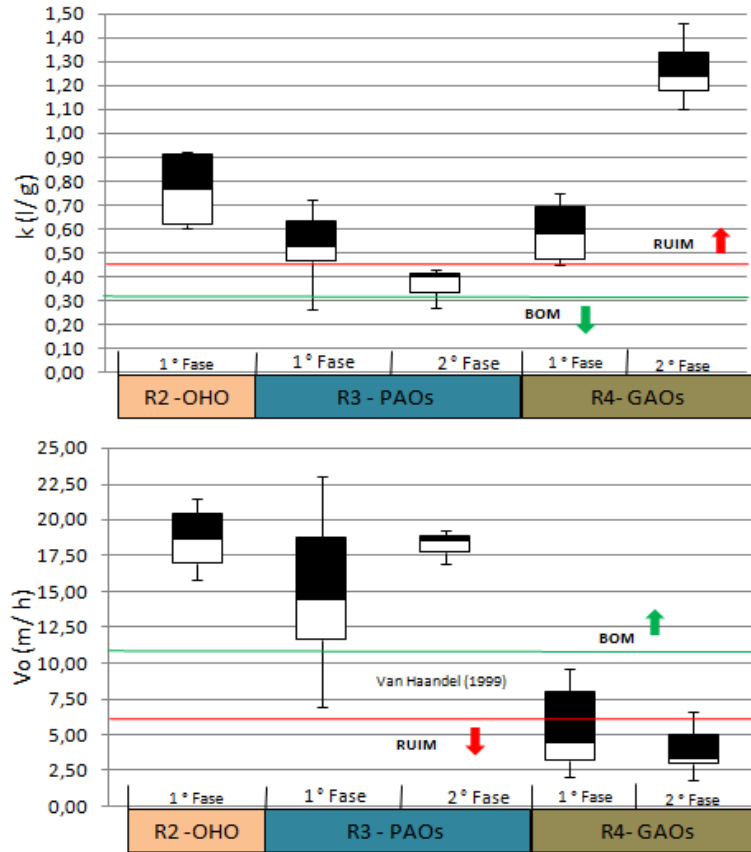


Tabela 4.22: Referência dos dados do boxplot das constantes de sedimentabilidade k e V_o

k (l/g)	R2(OHO)	R3(PAOS)	R3-2 FASE	R4(GAOS)	R4-2FASE
Maior valor não outliers	0,92	0,72	0,43	0,75	1,46
Mediana	0,77	0,53	0,40	0,58	1,24
Menor valor não outliers	0,60	0,27	0,27	0,45	1,10
Números de Dados	4,00	9,00	3,00	6,00	5,00
V_o (m/h)	R2(OHO)	R3(PAOS)	R3-2 FASE	R4(GAOS)	R4-2FASE
Maior valor não outliers	21,50	23,06	19,21	9,66	6,67
Mediana	18,66	14,42	18,53	4,43	3,34
Menor valor não outliers	15,81	6,93	16,95	2,04	1,86
Números de Dados	4,00	9,00	3,00	6,00	5,00

4.9 Observações Microscópicas

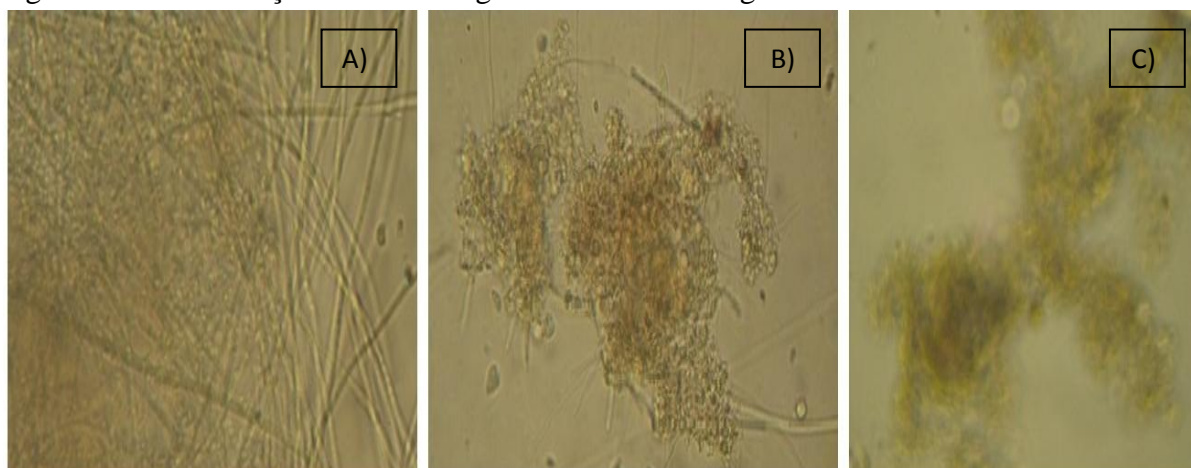
A elucidação dos principais processos bioquímicos que promovem a degradação biológica dos poluentes no sistema de lodo ativado se deve ao conhecimento dos principais microrganismos responsáveis pela biodegradação ou mineralização da matéria orgânica. A identificação desses microrganismos e o conhecimento de sua diversidade são importantes indicadores das condições operacionais dos reatores. Portanto, as espécies ou gêneros predominantes podem estar relacionados ao grau de desempenho do sistema.

Durante o desenvolvimento do trabalho foram realizadas algumas observações microscópicas com o intuito de complementar alguns resultados e entender melhor os processos que ocorrem nos reatores objeto deste estudo.

Algumas das observações microbiológicas foram realizadas na Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários (EXTRABES), utilizando-se um microscópio invertido Colema NIB-100, com ampliações de imagem de 400 X (Figuras 4.19 e 4.20). Outras observações microscópicas foram feitas no Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomaterias do Nordeste (CERTBIO) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), com um microscópio óptico marca Hirox (Figura 4.21). Maiores detalhes dessa análise estão descritos na Seção 3.3.5 deste trabalho. As observações microscópicas foram feitas nos últimos meses da pesquisa, dessa forma os resultados são representativos da segunda fase de funcionamento do R3, R4 e da única fase de funcionamento do R2.

Na Figura 4.19 são apresentadas imagens dos flocos biológicos dentro de cada reator. Destaca-se, a boa formação dos flocos no reator R3 (Figura 4.19 B), apresentando um equilíbrio entre as populações das bactérias filamentosas e as formadoras de flocos. Essa situação já tinha sido indicada, pelos resultados positivos apresentados por este reator nos testes de sedimentabilidade, onde era indicada a presença de possíveis flocos biológicos bem formados. O reator R2 apresentou péssima sedimentabilidade e se explica claramente na Figura 4.19 A, onde fica evidente o intumescimento do lodo, visualizando a predominância do crescimento de bactérias filamentosas. Já o R4 (Figura 4.19 C), apresenta considerável formação de flocos, porém um pouco dispersa, possivelmente pela baixa densidade das bactérias presentes, essa situação explicaria os péssimos resultados de sedimentabilidade do lodo nesse reator.

Figura 4.19: Observações microbiológicas de flocos biológicos dos sistemas

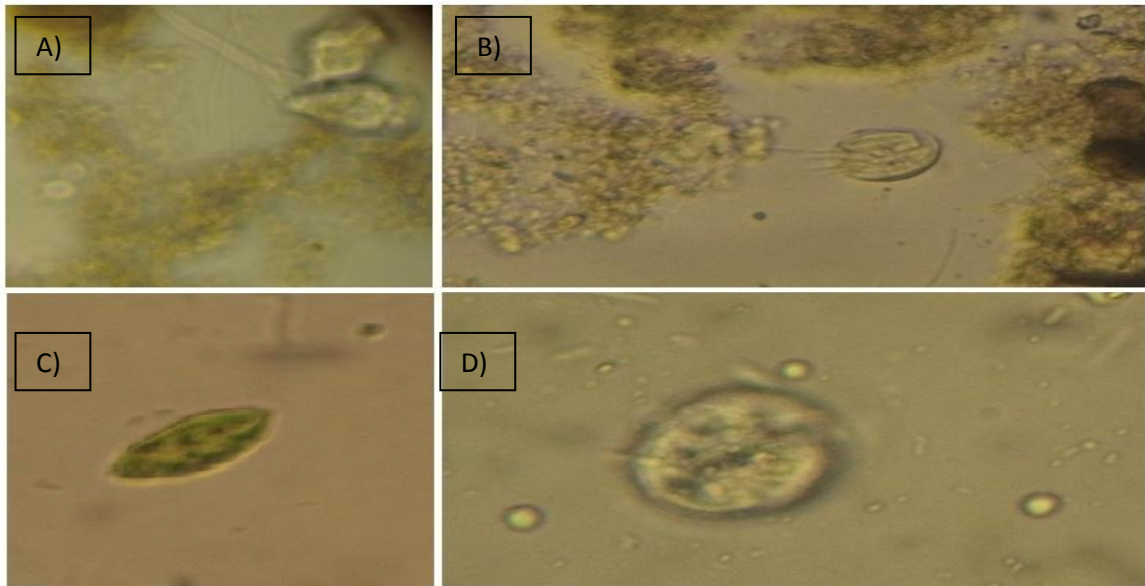


Descrição: a) R2(OHO); b) R3 (PAOs); c) R4 (GAOs); ampliações de 400X (EXTRABIS).

Nas poucas observações que foram feitas, houve diferentes microrganismos nas análises, e estas visualizações podem indicar o desempenho do reator e o estado das condições operacionais que apresentaram os sistemas. Dessa forma são expostos na Figura 4.20, alguns microrganismos encontrados. Com isto, podem ser levantadas algumas correlações da presença de tais, como no caso do ciliado fixo (*Vorticella*), encontrado no reator R4, apresentado na Figura 4.20 A, que conforme Bento (2005) a presença deste ciliado fixo indica má qualidade no efluente desse sistema.

Na Figura 4.20 B é exposto à observação de um ciliado livre-natante, observado no reator R3, indicando uma boa depuração e boa oxigenação neste reator, estes protozoários também ajudam no equilíbrio das comunidades existentes do lodo. A figura 4.20 C expõe a observação da microalga *Euglena*, frequentemente observada nas análises dos reatores R3 e R4, indicando que ainda havia presença de luz solar dentro dos reatores e o que ambiente era rico em matéria orgânica. Segundo BITTON (2005), a presença dessa microalga é uma indicação de uma alta carga no reator, algo comum para sistema de lodo ativado. Por fim é demonstra a figura 4.20 D, onde é exposto um possível Tecaameba que foi presenciada no reator R2, indicando também um ambiente de alta carga segundo BITTON(2005), muito comum em sistema de lodo ativado.

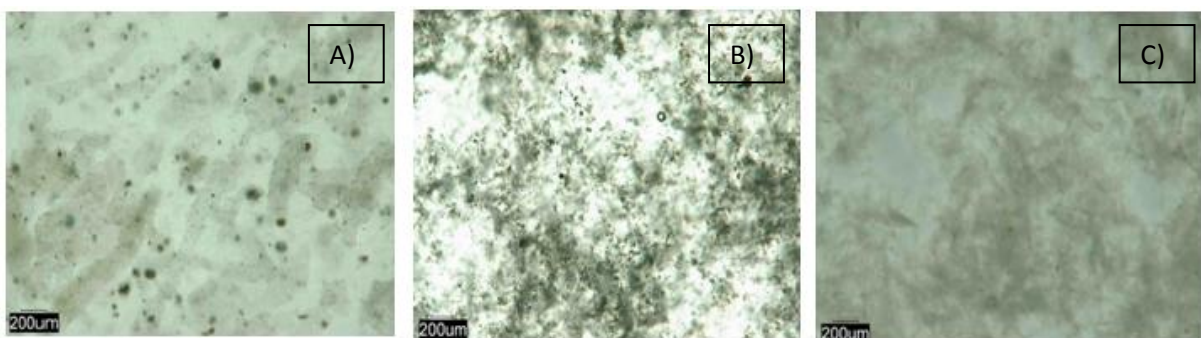
Figura 4.20: Microrganismos encontrados nos sistemas



Descrição: a) Ciliado fixo (*Vorticella*); b) Ciliado livre-Natante, predador de flocos ; c) Microalgas *Euglena*; d) Tecaameba; ampliações de 400X (EXTRABIS).

Foram realizadas observações mais detalhadas no laboratório CERTBIO, ajudando assim na obtenção de resultados mais concretos sobre a formação e morfologia do lodo estudado. As Figuras estão na escala de 200 μ m, pois esta é a medida padrão mínima para que um lodo possa ser considerado granular, um floco ótimo em termos de padrões. Os sistemas não apresentaram características de um lodo com uma boa formação, podendo destacar o R3 que apresentou resultados satisfatórios, mas ainda além de um lodo granular aeróbio. É importante salientar que estas observações mais apuradas indicaram um considerável número de seres filamentosos no reator R4 e R2.

Figura 4.21: Visualizações microbiológicas do Lab. CERTBIO dos lodos dos sistemas



Descrição: a) R2(OHO); b) R3 (PAOs); c) R4 (GAOs); ampliações de 100X. (CERTBIO)

4.10 Tabela dos resultados encontrados no trabalho

A Tabela 4.23 foi criada com o intuito de resumir as constantes encontradas nesta dissertação, apresentando a mediana dos parâmetros estudados. Sendo importante ressaltar que não foi possível obter resultados representativos de algumas constantes cinéticas dos reatores R3-PAO e R4-GAO, isto devido à interferência pequena, porém significativa dos organismos ordinários heterotróficos nos cálculos dos testes respirométricos.

Tabela 4.23: Resumo das constantes referente aos distintos lodos encontrados no trabalho

Característica	Símbolo	Unidade	R2 OHO	R3-PAO (1ª Fase)	R3-PAO (2ª Fase)	R4-GAO (1ª Fase)	R4-GAO (2ª Fase)
Estequiometria							
Fração catabolizada	f_{cat}	-	0,26	0,34	0,32	0,29	0,32
Razão DQO/SVS	f_{cv}	mgDQO/mgSVS	1,57	1,37	1,45	1,61	1,87
Coeficiente de rendimento	Y	mgSVS/mgDQO	0,45	0,45	0,45	0,41	0,35
Razão P/SVS	P/SVS	mgP/mgSVS	0,05	0,07	0,11	0,02	0,02
Razão SVS/STS	SVS/STS	mgSVS/mgSTS	0,69	0,64	0,59	0,80	0,70
Razão P liberado /DQO sequestrada	P/DQO	mgP/mgDQO	0,0	0,19	0,25	0,0	0,0
Cinética							
Constante de utilização	K_m	mgDQO/mg/d	12,63	-	-	-	-
Crescimento máx. bacteriano	μ_{max}	d^{-1}	4,90	-	-	-	-
Concentração de lodo ativo	X_a	mg. X_a /L	983,10	-	-	-	-
Constante de decaimento	b	d^{-1}	0,20	0,04	0,05	0,05	0,06
Sedimentabilidade							
Compressibilidade	k	l/g	0,77	0,53	0,40	0,58	1,24
Velocidade não estorvada	v_o	m/h	18,66	14,42	18,53	4,43	3,34

Capítulo 5

5. CONCLUSÕES

Os resultados da investigação experimental da dissertação levaram as seguintes conclusões:

- As condições operacionais impostas para o desenvolvimento de distintas populações de bactérias não foram bem sucedidas para concretização real de uma colônia de bactérias predominantes e bem estabelecidas, como era previsto nos reatores. Uma prova disto são os testes respirométricos dos R3 (PAO) e R4(GAO) que apresentaram ainda considerável atividade de OHO(organismos heterotróficos ordinários), e os testes respirométricos do R2 que apresentou em alguns períodos atividades pequenas, porém consideráveis de organismos acumuladores (PAO e/ou GAO) e organismos autotróficos (Nitritadores e/ou Nitradores);
- Apesar da não estabilização das colônias de bactérias como era previsto, os reatores apresentaram claras indicações da prevalência de bactérias heterotróficas ordinárias no reator-R2, de bactérias acumuladoras de fósforo no reator R3 e de bactérias acumuladoras de glicogênio no reator R4. Pode-se ressaltar, que esta afirmação ganha força quando verificamos que no R2 foram obtidos resultados próximos aos padrões utilizados para OHO apresentado um resultado de $Y = 0,45 \text{ mgSVS/mgDQO}$ e $F_{cv} = 1,57 \text{ DQO do lodo/SSV}$, não apresentado nos testes respirométricos atividades significantes para seres autotróficos e acumuladores. O reator R3 foi o que apresentou maior teor de fósforo no lodo de $0,11 \text{ mg P/ SVS}$ e maior relação de $\text{mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgDQO}_{\text{sequestrada}}$ com um valor de $0,25 \text{ mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgDQO}_{\text{sequestrada}}$. E por fim pode-se destacar no reator R4 que houve atividade significativa de seres acumuladoras em seus testes respirométricos, porém sua relação de teor de fósforo no lodo foi baixa e nos testes de biodesfosfatação houve DQO sequestrada no período anaeróbio mas não teve fósforo liberado, indicando atividades de GAO;
- O reator R3 apresentou resultados positivos para a presença de PAOs, embora um pouco distante dos que se esperava e do que os padrões utilizados mostravam. Isto pode ter ocorrido pelas limitações apresentadas pelas condições operacionais utilizadas para este caso, visto que foram desconsiderados alguns aspectos como a temperatura que oscilou bastante durante todo o período experimental, com médias

aproximadas de 25°C, e conforme demonstrado em diferentes estudos a temperatura é um fator limitante para o crescimento de PAOs, sendo assim, uma condição que deve ser controlada;

- O uso da respirometria aliada às análises físico-químicas foi fundamental para o desenvolvimento do trabalho e a obtenção de dados, sendo de suma importância ressaltar que a junção de tais ferramenta, contribui bastante no desenvolvimento de estudos e projetos que envolvem sistemas de lodo ativados;
- Os dados experimentais cinéticos e estequiométricos obtidos neste trabalho poderão servir de modelo para estimativas de valores característicos para a predominância das bactérias estudadas nos sistemas de lodo ativado.

5.1 RECOMENDAÇÕES

- É importante ressaltar que pesquisas futuras que objetivam a predominância de GAOs devem se preocupar com o aprimoramento adequado dos reatores, de forma a considerar a péssima sedimentabilidade proporcionada ao lodo em que predomina este organismo;
- Para trabalhos que envolvam a adição de substratos externos é importante considerar a possibilidade de formação de precipitados químicos, sendo fundamental observar como estes se comportam dentro do reator e quais são suas influências no meio;
- Foram presenciadas algumas dificuldades na alimentação dos reatores devido ao conjunto de bombas utilizadas no projeto, exigindo uma atividade mais minuciosa em sua operação para evitar o fenômeno de sifonamento.
- Por fim, para pesquisas futuras que envolvam predominância de PAOs e GAOs é importante considerar todos os aspectos que envolvam o seu crescimento, destacando condições operacionais que não foram consideradas neste trabalho como as propostas de estratificação do lodo no reator, a adição de substrato seletivo como é o caso do proprianato e o controle mais efetivo dos níveis de temperatura;

Capítulo 6

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA; AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC, 22th ed. 2012.

AZEVEDO NETTO, J. M., ALVAREZ, G. A. - "Manual de Hidráulica", Ed. Edgard Blucher Ltda, 7ª Edição, São Paulo, 1985.

AZEVEDO NETTO, J. M., CAMPOS BOTELHO, M. H.. "Manual de Saneamento de Cidades e Edificações", Editora Pini, 1991.

BARBOSA, A. DE O. Modelagem, Simulação e Automação de Sistemas Biológicos de Tratamento de Esgotos. [s.l.] Universidade Federal de Campina Grande, 2009.

BARBOSA, J. E. L., WATANABE, T., PAZ, R. J. A bacia do rio Gramame: biodiversidade, uso e conservação. 1 edição – Campina Grande: EdUEPB, 2009. 229 p.

BARROS, A. R. M., Avaliação dos parâmetros cinéticos de biomassa gerada em sistemas de lodo ativado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande(UFCG), Campina Grande, 103 p. 2014.

BASSIN, J. P. Remoção biológica de nutrientes em sistemas compactos e estudo da diversidade microbiana por técnicas de biologia molecular. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/COPPE/ Programa de Engenharia Química, 2012. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 209 p.2012.

BENTO, A.P, et al. 2005. Caracterização da microfauna em ETE do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. Eng. Sanit. Ambiental, v. 10(4), 329-33.

BITTON, G. Wastewater Microbiology. in: Ecological and Applied Microbiology. 3.ed. New York: Wiley-Liss, Inc., 2005, 768p.

BLACK, J. G. Microbiology. Principles and Explorations. Jonh Wiley; Sons, 5aed. Inc. 2002.

BRANCO, S.N. Hidrobiologia Aplicada a Engenharia Sanitária. 2. ed. São Paulo, CETESB, 1978. 620 p.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006.

BRDJANOVIC, D.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M.; HOOIJMANS, C. M.; ALAERTS, G.J.; HEIJNEN, J.J. Temperature effects on physiology of biological phosphorus removal. *Journal of Environmental Engineering*. v. 123, pp. 144-153. 1997.

BUENO, R. de F. Nitrificação e desnitrificação simultânea em reator com biomassa em suspensão e fluxo contínuo de esgoto. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, 143 p. 2011.

CANUDAS, A. G. Modelling biological organic matter and nutrient removal processes from wastewater using respirometric and titrimetric techniques. Tese (Doutorado) - Universitat Autònoma de Barcelona. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria. Departament d'Enginyeria Química. 2005.

CATUNDA, S. Y. C.; DEEP, G. S.; VAN HAANDEL, A. C.; FREIRE, R. C. S (1996). Fast on-line measurement of the respiration rate in activated sludge systems. *IEEE Instrumentation and measurement technology conference* Bruxelas, Bélgica, Junho 4-6.

CETESB. 1992. Microbiologia de Lodos Ativados. Séries Manuais.

COLEMAN – Empresa Coleman distribuidora de microscópios, espectrofotômetros, centrífugas. Disponível em < <http://www.coleman.com.br/>>. Acesso em: 03/02/2015.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N.º 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, 2011.

CUTOLO, S. A., ROCHA, A. A. Correlação entre a microfauna e as condições operacionais de um processo de lodos ativados. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo, 2000.

DERKS, Y. M (2007). Uso da respirometria para avaliar a influência de fatores operacionais e ambientais sobre a cinética de nitrificação. 103 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

DE KREUK, M.K.; VAN LOOSDRECHT, M.C.M. Selection of slow growing organisms as a means for improving aerobic granular sludge stability. *Water Science and Technology*. v. 49, pp. 9-17. 2004.

DEZOTTI, M. W. C.; BASSIN, J. P.; SANT'ANNA JR., G. L. Processos biológicos avançados para tratamentos de efluentes e técnicas de biologia molecular para o estudo da diversidade microbiana. Rio de Janeiro: Editora Interciência. 368 p.2011.

FIGUEIREDO, M. G.; DOMINGUES, V. B. Microbiologia de Lodos Ativados. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.. São Paulo: CETESB, 48 p. 1997.

GARCEZ, L. N. Elementos de engenharia hidráulica e sanitária. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1988.

GERAD J. TORTORA, Berdell R. Funke, Christine L. Case. PEARSON - Microbiology: An Introduction. Benjamin Cummings. 2006.

GUIMARÃES, S. M. O. M. O meio ambiente e ação antrópica: uma abordagem holística para a educação ambiental. 2008. 60 f. TCC (Pós-graduação lato sensu Formação Holística de Base – uma abordagem transdisciplinar)- Faculdade Metropolitana de Belo Horizonte, Belo Horizonte, 2008.

GUJER, W. Nitrification and me – A subjective review. *Water research*, v. 44, pp. 1-19. 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15/12/2014.

JENKINS, D., RICHARD, M., DAIGGER, G., 2003. Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming. USA. 3ª Ed. 115p.

JORDÃO E.P. et al. Controle microbiológico na operação de um sistema de lodos ativados – Estudo em escala piloto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL; 19., 1997, Foz do Iguaçu. Trabalho Completo. Foz do Iguaçu: [s.n.], 1997. p. 1-12.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 5a. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

LIU, W-T.; NAKAMURA, K.; MATSUO, T.; MINO, T. Internal energy-based competition between polyphosphate- and glycogen-accumulating bacteria in biological phosphorus removal reactors- effect of P/C feeding ratio. *Water Res.* 31 (6): pp. 1430-1438. 1997.

LOPEZ-VAZQUEZ, C. M. The competition between polyphosphate-accumulating organisms and glycogen-accumulating organisms: temperature effects and modelling. *Thesi (Ph.D.) - Delft University of Technology.* 256 p. 2009.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M. *Brock-Biology of microorganisms*, 11th Edition, Pearson Prentice Hall, 2006.

MADONI, P. et al. 1996. Toxic effect of heavy metals on the activated sludge protozoan community. *Water Research*, v. 30.10, p. 135-141.

MANAHAN, Stanley E. "Frontmatter" *Fundamentals of Environmental Chemistry*. Boca Raton: CRC Press LLC, 2001.

MATASSA, S.; BOON, N.; VERSTRAETE, W. Resource recovery from used water: The manufacturing abilities of hydrogen-oxidizing bacteria. *Water Research*. v. 68, pp. 467-478. 2015.

METCALF; EDDY. (Org.: George Tchobanoglous, Franklin Louis Burton, H. David Stensel). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw Hill, 4th edition, 1819p. 2003.

MULDER A., VAN DE GRAAF A.A., ROBERTSON L.A. e KUENEN J.G. Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized bed reactor. *FEMS Microbiology letters*, vol. 16, pp. 177-184. (1995).

MURNLEITNER, E.; KUBA, T.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M.; HEIJNEN, J. An integrated metabolic model for the aerobic and denitrifying biological phosphorus removal. *Biotechnol. Bioeng.* 54, pp. 434–450. 1997.

NAKAMURA E.M., et al. Study and development of LDPE/starch partially biodegradable compounds. *Journal of Materials Processing Technology*. V. 162, p. 236-241, 2005.

NICOLAU, A. et al. 2001. Trends in the use of protozoa in the assessment of wastewater treatment. *Res. Microb.* v. 152, p. 621-630.

NÓBREGA, E. O. Estequiometria e cinética da remoção de fósforo em sistemas de lodo ativado. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil e Ambiental Universidade Federal de Campina Grande: UFCG, Campina Grande, PB. 82 p. 2009.

NUNES, J. A. Tratamento biológico de águas residuárias. 2 edição – Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade. 2011. 273 p.

OEHMEN, A., SAUNDERS, A.M., VIVES, M.T., YUAN, Z., KELLER, J., 2006, “Competition between polyphosphate and glycogen accumulating organisms in enhanced biological phosphorus removal systems with acetate and propionate as carbon sources”, *Journal of Biotechnology*, v. 123, pp. 22-32.

OLIVEIRA, S. C. A. Determinação da toxicidade aguda e crônica de cloreto de sódio (NaCl) para a biomassa em sistemas de lodo ativado usando a respirometria como ferramenta de avaliação. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental)- Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, 86 p. 2014.

PAULA, L. G. A. de. Avaliação da influência das condições operacionais e da configuração de sistemas de lodo ativado sobre a sedimentabilidade do lodo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)-Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, 124 p. 2014.

PESCADOR, F. S. Tratamento de esgoto doméstico em reatores sequenciais em batelada anaeróbios (RSBAn). Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 151p. 2001.

PIEIDADE, A. L. F. Microbiologia de lodos ativados – uma ferramenta fundamental no gerenciamento das ETEs. Relatório Técnico – Acqua consulting soluções ambientais Ltda. 2010. 9 p.

RIBEIRO, R. dos R., MESQUITA, D. P., COELHO, M. A. Z. Estudo da aclimação de lodo ativado com efluente “in natura” da industria de pescado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002. 7 p.

ROQUES, H. Fondements théoriques du traitement biologique des eaux. Technique et Documentation, Paris, 1980.

SANTOS, E. V. M. Desnitrificação em sistemas de lodo ativado. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, 136 p. 2009.

SANTOS, E. V. M. Estratégias para predominância de organismos acumuladores de fósforo em sistemas de lodo ativado e respirometria aplicada à biodesfosfatação. 2014. 267 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

SANT’ANNA, JR. G. L. Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 418 p. 2010.

SAUNDERS, A.M., OEHMEN, A., BLACKALL, L.L., YUAN, Z., KELLER, J., 2003, “The effect of GAOs (glycogen accumulating organisms) on aerobic carbon requirements in full-scale Australian EBPR (enhanced biological phosphorus removal) plants”, *Water Science and Technology*, v. 47, pp. 37-43.

SEDLAK, R. Introduction. Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater: principles and practice. T. S. a. D. A. Richard I. Sedlak Technical Director, New York, NY. New York: pp. 1-2. 1991.

SEGALA, M. revista online Planeta sustentável. Disponível em: <<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/ambiente/populacao-falta-agua-recursos-hidricos-graves-problemas-economicos-politicos-723513.shtml>>, acessado em 20/12/2014.

SHARMA, B.; AHLERT, R. C.. Nitrification and nitrogen removal. *Water Reseach*, v. 11, p.897-925. 1976.

SILVA FILHO, H. A. Determinação de propriedades bioquímicas e mecânicas de biomassas de sistemas de lodo ativado para concepção de projetos otimizados. 2014. 345 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

SILVA, P. E. M. Registros históricos da implantação do sistema de abastecimento público de água no município de Taubatê 1850 a 1900. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Taubaté, São Paulo, 2007.

SILVA, V. T. de S. Tratamento unifamiliar de águas residuárias com origem doméstica. 2012. f 50. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental)- Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande. 2012.

SMOLDERS, G.J.G., VAN DER MEIJ, J., VAN LOOSDRECHT, M.C.M., HEIJNEN, J.J., 1994a, “Model of the anaerobic metabolism of the biological phosphorus removal process: stoichiometry and pH influence”, *Biotechnology and Bioengineering*, v. 43, pp. 461-470.

SMOLDERS, G.J.G., VAN DER MEIJ, J., VAN LOOSDRECHT, M.C.M., HEIJNEN, J.J., 1994b, “Stoichiometry model of the aerobic metabolism of the biological phosphorus removal process”, *Biotechnology and Bioengineering*, v. 44, pp. 837-848.

SOUSA, J. T. de; LEITE, V. D. ; Tratamento e Utilização de Esgotos Domésticos na Agricultura, EDUEP. Campina Grande – Paraíba. 2003.

TRABULSI, L.R.;ALTERTHUM, F.;MARTINEZ, M.B.;CAMPOS, L.C.;GOMPertz, O.F.;RÁCZ, M.L. Microbiologia. 5ª Edição. Editora Atheneu. 2008.

TORTORA, G.J.; FUNKE, B.R.;CASE, C.L. Microbiologia. 10ª Ed., Editora Artmed. 2012.

VAN HAANDEL, A. C.; CAVALCANTI. P. F. F.; CATUNDA, Y. C.; SANTOS, J. G. F. Uso da respirometria para controle de sistemas de lodo ativado. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*. pp. 147-161. 1998.

VAN HAANDEL, A. C. & CATUNDA, P. F. C. Determinação da taxa de consumo de oxigênio em sistemas de tratamento de esgotos. *Engenharia Sanitária*, v 21, n 4, p 481-488. 1982.

VAN HAANDEL, A. C.; CATUNDA, S. Y. C. Respirometria aplicada ao sistema de lodo ativado: teoria e aplicações. Campina Grande – PB. p. 110. No prelo 2014.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Tratamento anaeróbio de esgotos – Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande, 1994.

VAN HAANDEL, A. C. & MARAIS, G. V. R. Nitrification and denitrification kinetics in the activated sludge process. Research report W39, Dept. of Civil Eng., University of Cape Town, Rondebosch, 7700, South Africa. 1981.

VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G. V. R. O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operações. Campina Grande: Epgraf, 1999.

VAN HAANDEL, A. C.; VAN DER LUBBE, J. Handbook biological waste water treatment: design and optimization of activated sludge systems. 2. ed. Londres – UK: IWA Publishing of Alliance House, 816p.2012.

VAN LOOSDRECHT, M.C.M., HOOIJMANS, C.M., BRDJANOVIC, D., HEIJNEN, J.J., 1997, “Biological phosphate removal processes”, Applied Microbiology and Biotechnology, v. 48, pp. 289-296.

VAN LOOSDRECHT, M. C. M.; JETTEN, M. S. M. Microbiological Conversions in Nitrogen Removal. Water Science and technology. v.38, n.1, pp. 1-7. 1998.

VAN LOOSDRECHT, M.C.M.; POT, M.A.; HEIJNEN, J.J. Importance of bacterial storage polymers in bioprocesses. Water Science and Technology. 35 (1):pp. 41-47. 1997.

VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, v.01. Minas Gerais: ABES, 1995.

VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lodos Ativados, v.04. Minas Gerais: ABES, 1997.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 4.Lodos ativados. 2.ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG,2002. v. 1. 428 p.

WENTZEL M. C.; DOLD P.L.; EKAMA G.A.; MARAIS G. V. R. “Enhanced polyphosphate organism cultures in activated sludge systems: part II Experimental behavior. Water S.A., 15. 17-88. 1988.

WHANG, L. M.; PARK, J. K. Competition between polyphosphate and glycogen-accumulating organisms in enhanced-biological-phosphorus-removal systems: Effect of temperature and sludge age. Water Environmental Research. v. 78; pp. 1–4. 2006.

WHITE M. J. d (1975) Settling of Activated Sludge, Technical Report TR11, WRC Stevenhage - Reino Unido (1975).

ZENG, R.J., YUAN, Z., VAN LOOSDRECHT, M.C.M., KELLER, J., 2002, “Proposed modifications to metabolic model for glycogen-accumulating organisms under anaerobic conditions”, Biotechnology and Bioengineering, v. 80, pp. 277-279.