VALOS DE OXIDAÇÃO APLICADOS A ESGOTOS DOMÉSTICOS

JOSÉ CLEANTHO C. GONDIM

VALOS DE OXIDAÇÃO APLICADOS A ESGOTOS DOMÉSTICOS

JOSE CLEANTHO C. GONDIM

Trabalho apresentado à Faculdade
de Saúde Pública da USP, para ob
tenção do título de Mestre em
Saúde Pública

Orientador: Prof. Carlos Celso do
Amaral e Silva

São Paulo

1976

AGRADECIMENTO

À Orientação

do Prof. Carlos Celso do Amaral e Silva

À Ajuda

do Prof. Guerrit V.R. Marais

À Colaboração

do Engº Francisco Demóstenes da Silva

do Engº Celso Eufrásio Monteiro

Ao Incentivo

de minha esposa

Vânia Braga Gondim

Í N D I C E

1.	HISTÓRICO	1
2.	OBJETIVO	3
3.	O PROCESSO	4
3.1	ASPECTOS BIOLÓGICOS	4
3.1.1	COMENTÁRIOS INICIAIS	4
3.1.2	O PRINCÍPIO BIOLÓGICO	4
3.1.3	FLOCULAÇÃO	7
3.1.4	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	8
3.2	AERAÇÃO	9
3.2.1	COMENTÁRIOS INICIAIS	9
3.2.2	FINALIDADES	10
3.2.3	METODOLOGIA DO TESTE DE EFICIÊNCIA DE UM AERADOR	14
3.2.4	TESTE DE REOXIGENAÇÃO EM UM VALO DE OXIDAÇÃO	17
3.2.4.1	INTRODUÇÃO	17
3.2.4.2	METODOLOGIA	18
3.2.4.3	TESTE PROPRIAMENTE DITO	19
3.2.4.4	CONCLUSÕES	26
3.2.5	EXEMPLO DE DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES α e β	27
4.	PROJETO	30
4.1	COMENTÁRIOS INICIAIS	30
4.2	CRITÉRIOS DE PROJETO	31
4.2.1	DIMENSÕES DO VALO	31
4.2.1.1	VOLUME	31
4.2.1.2	SEÇÃO TRANSVERSAL	40
4.2.1.3	COMPRIMENTO	40
4.2.1.4	DISPOSITIVO DE ENTRADA E SAÍDA	40
4.2.2	O ROTOR	41
4.2.3	DECANTADOR SECUNDÁRIO, RECIRCULAÇÃO DE LODO E LEITO DE SECAGEM	46
4.3	EXEMPLO DE PROJETO	48
4.3.1	COMENTÁRIOS INICIAIS	48
4.3.2	O VALO E O SISTEMA DE AERAÇÃO	49
4.3.3	O DECANTADOR SECUNDÁRIO E O LEITO DE SECAGEM	59
4.3.4	DETALHES	61

5.	A EXECUÇÃO	66
5.1	LOCAÇÃO	66
5.2	PREPARAÇÃO DO TERRENO	66
5.3	ESCAVAÇÃO	66
5.4	REVESTIMENTO	67
5.5	DISPOSITIVOS DE ENTRADA E SAÍDA	67
6.	CUSTO	68
6.1	COMENTÁRIOS INICIAIS	68
6.2	COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	69
6.3	RESULTADOS	70
6.4	RECOMENDAÇÕES	71
7.	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	72
7.1	COMENTÁRIOS INICIAIS	72
7.2	MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO	72
7.3	PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO	72
7.3.1	FATORES DE CONTROLE	72
7.3.2	TESTES DE CONTROLE	75
7.3.2.1	OBSERVAÇÕES GERAIS	75
7.3.2.2	TEMPERATURA	75
7.3.2.3	SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS	76
7.3.2.4	ESTABILIDADE RELATIVA	76
7.3.2.5	SÓLIDOS EM SUSPENSÃO NA MISTURA LÍQUIDA	77
7.3.2.6	OXIGÊNIO DISSOLVIDO	77
7.3.2.7	pH	77
7.3.2.8	CLORO RESIDUAL	78
7.3.2.9	OUTROS TESTES	78
7.4	RELATOS DE OPERAÇÕES	78
7.4.1	BEAVERTON, OREGON	78
7.4.1.1	CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO	78
7.4.1.2	PESQUISAS DE CAMPO	79
7.4.2	CIDADE STAYTON, OREGON	81
7.4.2.1	CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO	81
7.4.2.2	PESQUISAS DE CAMPO	81
7.4.3	VILAREJO DE WILLIAMS LAKE, BC	82
7.4.3.1	CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO	82
7.4.3.2	PESQUISAS DE CAMPO	83

7.4.4	VILAREJO DE MONTROSE, B C	84
7.4.4.1	CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO	84
7.4.4.2	PESQUISAS DE CAMPO	85
7.4.5	CIDADE DE REGINA, SASKATCHEWAN	86
7.4.5.1	CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO	86
7.4.5.2	PESQUISAS DE CAMPO	86
7.4.6	CAMERON, WEST VIRGÍNIA	88
7.4.6.1	CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO	88
7.4.6.2	PESQUISAS DE CAMPO	89
	7.4.6.2.1 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO	89
	7.4.6.2.2 VELOCIDADE DA MISTURA LÍQUIDA ...	91
	7.4.6.2.3 OXIGÊNIO DISSOLVIDO NO VALO	92
7.4.7	SOMERSET, OHIO	92
7.4.7.1	CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO	92
7.4.7.2	PESQUISAS DE CAMPO	93
	7.4.7.2.1 VELOCIDADE DA MISTURA LÍQUIDA ...	93
	7.4.7.2.2 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO	95
	7.4.7.2.3 CONSUMO DE ENERGIA	98
7.4.8	JARDIM LEONOR, CAMPINAS - SP	98
7.4.8.1	CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO	98
7.4.8.2	PESQUISAS DE CAMPO	99
7.4.9	REPLAN, PAULÍNIA - SP	100
7.4.9.1	CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO	100
7.4.9.2	PESQUISAS DE CAMPO	101
7.4.10	TABAPUÃ, CAUCAIA - CE	104
7.4.10.1	CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO	104
7.4.10.2	PESQUISAS DE CAMPO	105
	7.4.10.2.1 GENERALIDADES	105
	7.4.10.2.2 VAZÃO DE TRATAMENTO	105
	7.4.10.2.3 OBSERVAÇÕES RELATIVAS A OPERAÇÃO E AMOSTRAGEM	107
	7.4.10.2.4 TRABALHOS DE CAMPO	107
	7.4.10.2.5 COMENTÁRIOS	114
8.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES FINAIS	116
9.	BIBLIOGRAFIA	121

RESUMO

O presente trabalho, intitulado "Valos de Oxidação Aplicados a Esgotos Domésticos", tendo como suporte principal uma pesquisa bibliográfica, apresenta uma discussão da teoria deste tipo de tratamento, a saber: o processo biológico, a aeração e critérios de projeto. Na parte prática é apresentado um dimensionamento, são feitas considerações sobre a execução e custo do sistema, bem como descritos e analisados problemas de operação e manutenção.

ABSTRACT

The present paper, called "Oxidation Ditches Applied to the treatment of Domestic Sewage", primarily supported by a bibliographical research, presents a discussion of the theory of this type of treatment such as: the biological process, aeration and design criteria. In the practical section a case study is discussed and some comments upon the implementation and cost of the system have been made. In addition, some problems on operation and maintenance have been described and analysed.

A necessidade fundamental do controle da poluição das águas em todo mundo, ocasionou inúmeras pesquisas destinadas ao estabelecimento de processos biológicos, para o tratamento de águas residuárias.

Esta incessante procura de uma nova técnica de depuração biológica deveu-se também ao fato de que os processos convencionais utilizados, o dos filtros biológicos e o dos lodos ativados, não apresentavam simplificações no processo e operação, a medida que o tamanho das instalações diminuía, tornando, portanto o custo das mesmas, frequentemente proibitivo para pequenas fontes poluidoras.

O Instituto de Pesquisas de Engenharia e Saúde Pública (TNO) e o Instituto Governamental de Tratamento de Esgotos (RIZZA) na Holanda, realizaram extensos estudos em pequenas estações de tratamento de esgotos, para a obtenção de um processo econômico e eficiente, compatível com a qualidade desejada nos corpos receptores. Por essa razão foi selecionado o processo lodos ativados, pois os demais, como fossas sépticas, tanques Imhoff ou mesmo os filtros biológicos, não garantiam o grau de depuração exigido.

O Engenheiro Aale Pasveer, estudando o fenômeno de auto-depuração que ocorre nos rios não encachoeirados, com velocidades inferiores a 50cm/s, verificou que o tempo de recuperação das águas após o recebimento da carga poluidora estava compreendido entre 2 e 3 dias.

Fundamentado em que os processos biológicos de tratamento nada mais são que cópias de auto-depuração feitas pela natureza, de uma maneira concentrada e acelerada, criou um tanque em circuito fechado, no qual o líquido residuário era impulsionado e aerado através de um dispositivo previamente selecionado, a escova Kessener. Em pesquisas de transferência de oxigênio à massa líquida, em função de parâmetros como profundidade de imersão e velocidade de rotação, desenvolveu um rotor de aeração análogo as escovas Kessener, possuindo no entanto palhetas rígidas, que garantiam uma maior eficiência no fornecimento de oxigênio.

No rio artificial de Pasveer, que ele chamou de "oxidatiesloot", e que no Brasil teve a denominação de "valo de oxidação", os fenômenos de auto-depuração são causados pelo contato íntimo entre o esgoto bruto, oxigênio dissolvido e a massa biológica mantida em suspensão, fazendo assim uma correspondência com o processo lodos ativados, sendo sua eficiência ligada a quantidade de matéria orgânica metabolizada por unidade de volume na unidade de tempo, valor este comumente expresso em kg DBO/m³. dia.

Em 1956, Pasveer construiu o primeiro valo de oxidação na Holanda, em um distrito residencial, da municipalidade de Voorschoten com 300 habitantes, e em 1957, Dr. Josef Muskat construiu em Nittenau, o primeiro valo de oxidação alemão. Estas duas instalações, forneceram os dados para o dimensionamento da maioria dos valos europeus.

Em 1959, no Brasil surgiu a primeira referência sobre Valos, através do Engº Max Lothar no V Seminário de Professores de Matérias Relacionadas com Engenharia Sanitária.

Em 1961, foi construído o primeiro valo de oxidação brasileiro, projeto do Engº Constantino Arruda Pessoa sob a orientação do Engº Max Lothar Hess.

Em 1962, havia mais de 100 dessas instalações em funcionamento na Alemanha e Holanda.

Em março de 1963, uma planta piloto foi posta em operação no Canadá. Em setembro do mesmo ano, uma estação em escala real foi posta em serviço no Vilarejo Montrose B.C. e em novembro no Vilarejo de Williams Lake, B.C.

Em setembro de 1964, entrou em operação o primeiro valo de oxidação norte-americano com capacidade para 4.300 habitantes na cidade de Glenwood, Min, e em 1966 já se anunciava a construção do valo de oxidação da cidade de Walsenburg, Colo.

O processo era de tal simplicidade, que a sua aceitação se difundiu rapidamente, pois em 1964 já existia no Estado de São Paulo, 13 instalações para tratamento de despejos de fecularia de mandioca. Atualmente estima-se em todo mundo cerca de 3.000 valos de oxidação utilizados em tratamento de despejos domésticos e industriais.

Bons resultados foram obtidos dessas estações, produzindo reduções de até 98% de DBO, com um mínimo de supervisão.

O valo de oxidação pode ser definido como um processo de depuração biológica chamado de lodos ativados modificado. Mais precisamente, ele está enquadrado dentro do grupo de tratamento de mistura completa com aeração prolongada.

2. OBJETIVO

O presente trabalho terá como finalidade principal a ordenação de dados e informações, baseado em uma pesquisa bibliográfica sobre valo de oxidação aplicado para tratamento de esgotos domésticos.

Constará inicialmente de uma descrição do processo teórico abrangendo o fenômeno biológico com suas teorias sobre floculação e um estudo da parte central do sistema, a aeração. Neste último, serão apresentadas suas finalidades, recomendações práticas e método de determinação da taxa de transferência de oxigênio ou eficiência, acompanhado de um trabalho feito com dois tipos de rotores mais comumente usados no Brasil, o tipo Hess e o Penha, em que o autor participou junto com três colegas da CETESB em São Paulo, 1973. Também será apresentado neste capítulo um exemplo de determinação dos parâmetros α e β , que relacionam o coeficiente de transferência de oxigênio entre a água limpa e um determinado tipo de despejo.

Em seguida será apresentado um projeto com seus cálculos e alguns detalhes executivos, recomendações na execução da obra, custos e relatos resumidos sobre problemas de operação e manutenção obtidos de bibliografia especializada e de alguns dados da operação e manutenção do valo de oxidação do Parque Tabapuã, em Caucaia Ceará.

Finalmente será apresentado, um item com conclusões e sugestões gerais sobre os diversos problemas inerentes ao projeto, construção, operação e manutenção de um valo de oxidação.

3. O PROCESSO
3.1 ASPECTOS BIOLÓGICOS
3.1.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

O tratamento de esgotos, consiste principalmente na oxidação de moléculas orgânicas complexas, transformando-as em compostos simples tais como sais minerais e gás carbônico. Esta oxidação poderia ser realizada através de uma incineração. No entanto, como o esgoto é formado na sua quase totalidade por água (99,9%), seria necessário uma grande quantidade de calor, tornando o processo anti-econômico. Na prática esta transformação é feita através de reações enzimáticas promovidas por microrganismos que se desenvolvem e se multiplicam nos esgotos ricos em matéria orgânica, substâncias essas que lhe servem de alimento. (7)

Os tratamentos biológicos nada mais são que cópias das auto-depurações feitas pela natureza, nos rios, lagos e represas, com a diferença que as áreas e os tempos utilizados são bem menores.

3.1.2 O PRINCÍPIO BIOLÓGICO

Os seres vivos, obtêm energia para as suas atividades utilizando moléculas complexas, que são oxidadas através de um fenômeno chamado de respiração. Este é o princípio encontrado nas estações de tratamento biológico de esgotos.

Nos valos de oxidação, a respiração é do tipo aeróbia ou seja, as moléculas complexas ao se oxidarem perdem átomos de hidrogênio, tendo comoceptor destes o oxigênio.

Os esgotos domésticos, bem como grande parte dos esgotos industriais, possuem uma considerável quantidade de matéria orgânica de alto teor energético, servindo de alimento para peixes, protozoários, bactérias, fungos, etc. Na utilização dessa energia, os seres realizam uma respiração aeróbia, consumindo oxigênio do meio. A quantidade de alimento irá controlar a proliferação dos microrganismos, bem como a demanda bioquímica de oxigênio necessária à estabilização desse material, DBO. A possibilidade de aplicação do tratamento biológico está ligada a existência dessa demanda, bem como a inexistência de substâncias inibidoras do processo.

A DBO do esgoto orgânico, em contato com o lodo biológico, é removida por uma série de processos. Os sólidos suspensos, finalmente divididos são

removidos por adsorção e coagulação. Uma parte da matéria orgânica solúvel é removida por absorção, e armazenada na célula como reserva de alimentos. A matéria orgânica adicional é removida progressivamente durante o período de aeração, resultando na síntese do lodo, com produção de dióxido de carbono e água.

As reações envolvidas na remoção da DBO solúvel, durante uma bio-oxidação, podem ser interpretadas num processo de três fases: (12)

- 1) Remoção inicial da DBO obtida do contato do esgoto com o lodo ativado biológico que é armazenado na célula como reserva de alimento.
- 2) Remoção da DBO, diretamente proporcional ao crescimento do lodo biológico.
- 3) Oxidação do material celular biológico através da respiração endógena.

Nos valos de oxidação os fenômenos biológicos caracterizantes de seu funcionamento, são semelhantes ao processo de oxidação total, onde o tratamento do esgoto e do lodo são feitos no mesmo tanque.

A oxidação total pode ser definida como um processo em que o lodo biológico produzido por síntese é consumido por auto-oxidação. Esta auto-oxidação é efetuada quando o tempo t_1 é aumentado para t_2 , ou seja, um aumento de t_3 em relação ao processo de lodos ativados convencionais, como é mostrado na Figura 3.1.

A oxidação da matéria orgânica se processa na fase chamada respiração endógena, obtendo-se um lodo residual com características de boa decantação, boa filtração e nenhum odor. Há também uma redução da massa de lodo, devido a matéria orgânica ser totalmente utilizada para assegurar as necessidades energéticas das células.

Em resumo, podemos caracterizar o processo por: (25)

- 1) possuir tempo de aeração prolongado;
- 2) ocorrer na fase de respiração endógena;
- 3) produzir uma quantidade de lodo mínima;
- 4) apresentar uma DBO final mínima.

Em estudos experimentais, tem-se verificado que a auto-oxidação do lodo biológico não é realizada com velocidades de reação de 1ª ordem e sim reações retardadas, em que a taxa de oxidação decresce com o tempo ou com a concentração. Uma parte do material celular do lodo biológico, cerca de 25%, segundo Mc Kinney e Konnstz, é altamente resistente a auto-oxidação, resultando num excesso de lodo acumulado. (12)

Fig. 3.1- Produção de lodo em função do tempo de detenção

O balanço do lodo no tanque de aeração pode ser expresso aproximadamente pela relação:

$$\Delta s = aLr - bSa$$

Δs = Aumento dos sólidos do lodo biológico em kg/dia.

a = Fração de DBO sintetizada do lodo.

Este valor varia usualmente de 50 - 75% da DBO_5 removida.

Lr = DBO removida em kg/dia.

b = Taxa média de auto-oxidação, fração por dia.

(Para esgotos domésticos onde se encontram sólidos suspensos de baixa taxa de oxidação, pode-se ter uma taxa endógena de 6 a 12% por dia).

Sa = Média dos sólidos em suspensão na mistura líquida (kg).

Na equação acima não foi considerada a fração inerte do lodo, parte esta que não é oxidada no processo. Na oxidação total $\Delta s \approx 0$, resultando:

$$a.Lr = b.Sa$$

A quantidade de lodo, a ser mantida no tanque de aeração, é aproximadamente:

$$S_a = a.L_r/b$$

3.1.3 FLOCULAÇÃO (8)

Um fenômeno biológico, de fundamental importância, no processo, é a floculação, pois desta operação é que se forma o lodo ativado.

Várias são as teorias que tentam explicar a formação dos flocos, sabendo-se entretanto que é uma consequência da aeração a que é submetido o líquido. A teoria clássica se baseia em que os lodos ativados, são constituídos em grande parte por bactérias do tipo Zooglea ramifera, possuidora de uma matriz gelatinosa, "Zoogleeia" capaz de adsorver material em suspensão, formando o floco. Entretanto, foi posteriormente observado, que uma pequena quantidade, ou mesmo a inexistência dessas bactérias, não impediam a floculação. Devido a esse fato atribuiu-se como responsável pelo fenômeno os protozoários ciliados existentes no processo, que na fase de declínio formam corpos esféricos aglutinantes no interior de suas células. Estas esferas são libertadas após a morte dos organismos, reunindo-se em massas de capacidade adsorvente, dando origem aos flocos. Mais tarde comprovou-se que a inexistência desses últimos, também não impedia a formação do lodo ativado. Modernamente, sabe-se que a formação desses flocos não é atributo específico desses microrganismos produtores de material gelatinoso.

Mc Kinney e colaboradores, após realizarem uma série de pesquisas físico-químicas, concluíram que a aglutinação era resultado de uma atração física, semelhante ao que acontece numa solução coloidal. Assim sendo, existiriam duas forças: uma de atração (Van der Waals), e uma de repulsão (Potencial Zeta). No entanto, com a medida dessas forças de repulsão, constatou-se que estas, não eram suficientes para manter as bactérias separadas, o que significava dizer que toda suspensão de bactéria flocularia, fato este que nem sempre acontece. A explicação desse fato foi atribuída pelos estudiosos no assunto, a uma terceira força ligada a sua atividade locomotora, que dependia da quantidade de alimento existente no meio, não podendo haver floculação na fase logarithmica de crescimento, onde o meio é rico em nutrientes, ou mesmo na fase de declínio onde o meio é mais pobre. A formação de flocos só se daria na fase endôgena, onde esgotados os alimentos, as bactérias passariam a viver de suas próprias reservas nutritivas. O material floculado poderá ser desfeito se forem

adicionados compostos nutritivos, e por sua vez estas bactérias se isoladas e colocadas em solução salina, passam a formar flocos.

Nos processos de tratamento biológico, a floculação é uma operação importante, pois dela depende uma boa decantação, como também a eficiência da metabolização da matéria orgânica. Essa parte do processo como visto anteriormente se dá na fase endógena, que, com relação ao fornecimento de oxigênio poderemos ter: uma aeração deficiente mantendo um excesso de nutrientes e consequentemente impedindo uma boa floculação; uma aeração excessiva aumentando a floculação, dando origem a flocos de baixa capacidade depuradora.

Na realidade este fenômeno nos esgotos é mais complexo. Existem colóides orgânicos e inorgânicos que interferem no processo, ora servindo de alimento, ou seja fornecendo-lhe energia e impedindo floculação, e ora produzindo-a através da adsorção de partículas e das próprias bactérias.

Nem todos os fatos vinculados com a floculação a teoria de Mc Kinney conseguiu explicar, como por exemplo: certas bactérias e fungos sem possuírem movimento flocularem e a não floculação quando as bactérias são inativadas pela ação da temperatura ou por substâncias inibidoras.

O fenômeno parece ter um caráter muito mais geral, relacionado com a superpopulação do meio e a falta de alimentos que dela decorre.

3.1.4 DESCRIÇÃO DO PROCESSO (8)

O processo biológico em sequência, poderia ser descrito da seguinte maneira: inicialmente a forma solúvel dos compostos é predominante, havendo tendência do desenvolvimento de uma rica flora de bactérias e fungos, microrganismos que facilmente se alimentam de substâncias líquidas. A medida que a população desses microrganismos aumenta, atingindo grandes concentrações, inicia-se a floculação, pois neste momento o alimento solúvel já se encontra escasso começando a aparecer os protozoários ciliados de locomoção livre, caracterizados por uma enorme atividade, requerendo portanto grandes quantidades de energia. Esses ciliados alimentam-se de bactérias, reduzindo portanto a população destas. Nesse tempo, o alimento solúvel das bactérias vai se tornando raro, constituindo-se um fator adicional para a redução de seu número. Não contando mais com uma grande quantidade de alimento-bactérias indispensável para a manutenção de suas atividades, os ciliados livres passam a diminuir de número, dando lugar a novos tipos de ciliados, como Vorticella, Epistilis e outros que sendo fixos, requerem uma menor quantidade de energia. Com a continuação da ae

ração, haverá falta de alimentos para esses últimos, havendo em consequência uma fauna de rotíferos, vermes e grandes ciliados, os quais se alimentam dos próprios flocos.

Na prática, devido a entrada contínua de novas cargas poluidoras do sistema, as etapas acima descritas não são observadas. Os efeitos finais do processo, ou seja a destruição dos próprios flocos pelos rotíferos, etc., não são desejados, pois prejudicam a etapa seguinte do tratamento, a decantação.

Para obtenção de bons resultados na operação do valo de oxidação, é interessante manter uma correlação entre carga orgânica, tempo de detenção e aeração, visando a obtenção de flocos com um mínimo de matéria orgânica solúvel ou de bactérias. Essa correlação é evidenciada pela presença de microrganismos do tipo Vorticella, e outros ciliados que se alimentam das poucas bactérias que ainda existem livres, constituindo-se um dos melhores indicadores da eficiência do tratamento. A presença apenas de bactérias em suspensão indica um estágio primário de estabilização; a presença apenas de ciliados do tipo móvel indica o início da floculação com a permanência ainda de um grande número de bactérias livres, tendo portanto uma grande quantidade de matéria orgânica solúvel; a presença de rotíferos, vermes ou ciliados gigantes indica um estado demasiadamente avançado.

É interessante citar, que o desenvolvimento dos microrganismos exige características ecológicas no que tange ao pH que não pode ser muito baixo, a concentração de fósforo e nitrogênio proporcionais ao carbono, $(\text{DBO}/\text{P}) = (100/0,7)$ e $(\text{DBO}/\text{N}) = (100/4)$ e a concentração de oxigênio dissolvido. Quando essas exigências não são satisfeitas, acontece frequentemente o aparecimento de microrganismos filamentosos que tomam o lugar das bactérias causadoras dos flocos mais compactos, formando flocos por entrelaçamento dos filamentos, possuindo espaços vazios no seu interior, tornando o floco de baixa densidade. Este fenômeno é conhecido por "Entumescimento" ou "Bulking".

3.2 AERAÇÃO

3.2.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

O sistema de aeração com escova foi desenvolvido no período 1925/1930, por Dr. Kessener, para aplicação no processo de lodos ativados. Foi verificado que a oxigenação da água, se passava inteiramente na vizinhança da escova, e que o processo físico acontecia satisfatoriamente tanto em pequenos como em grandes tanques.

Estes resultados estimularam pesquisas em direções diferentes, tendo como consequência, a melhoria do método de oxigenação com o desenvolvimento de novos tipos de rotores de aeração, bem como tornou possível conduzir experiências no sentido de averiguar a taxa de consumo de oxigênio no processo de lodos ativados durante uma aeração intensa.

Ribbius definiu a ação da escova rotativa como sendo o resultado de quatro fatores: (20)

- a) Ondulação e enrugação da superfície natural da água;
- b) Gotas de água são arremessadas dentro do ar;
- c) Bolhas de ar são introduzidas na massa da água;
- d) Agitação da água produzindo uma mistura de ar-água ao redor do corpo da escova, representando uma grande superfície de água em pequeno espaço.

É razoável a suposição que a superfície criada e renovada na mistura ar-água são responsáveis pela maior parte da oxigenação que ocorre.

Para o estudo da oxigenação da água, Kessener e Ribbius (1934/1935), desenvolveram um método de avaliação dos efeitos produzidos na taxa de oxigenação, quando as condições físicas de um sistema variavam. Estes estudos envolveram o conceito de capacidade de oxigenação, significando a taxa de oxigenação sob condições determinadas: água destilada não oxigenada a uma temperatura de 10°C e pressão de 760mm de Hg.

A Tabela 3.1 apresenta valores da taxa de oxigenação em tanques de diversos volumes.

Tabela 3.1 - Taxa de Oxigenação em Tanques de Aeração de Diferentes Volumes.

Imersão da Escova (cm)	Volume do Tanque de Aeração (m³)	Pot. Consumida por 4m de Escova (kW)		Pot. Líq. por 2m de Escova (kW)	Capacidade de Oxig. (g/h)			Capacidade Oxigen. (g/h.kW)
		Bruta	Líquida		por m³	tanq	p/m.esc.	
8	26,50	1,525	1,260	0,630	40,6	1079	540	1708
8	26,50	1,525	1,260	0,630	40,6	1079	540	1708
8	9,25	1,500	1,235	0,620	119,3	1104	552	1781
8	3,57	1,525	1,260	0,630	316,0	1128	564	1790
8	4,00	1,575	1,310	0,655	304,0	1216	608	1856
8	4,00	1,525	1,260	0,630	295,0	1180	590	1873

Fonte: PASVEER. A - New Developments in the Application of Kessener Brushes (aeration rotors) in the Activated - sludge Treatment of Trade Waste Waters. In: - ISAAC P.C.G. Waste Treatment, 1960.

Dos resultados da Tabela 3.1 concluiu-se que a taxa de oxigenação por unidade de volume, aumenta quando o volume do tanque diminui, permanecendo a capacidade de oxigenação praticamente constante quando relacionado com o tanque ou o comprimento da escova de aeração. Isto sugere que o processo físico de introdução de oxigênio do ar na água feito por escova rotativa, funciona tanto em pequenos como em grandes tanques.

Este resultado é importante sob dois aspectos. Primeiramente, possibilitou de uma maneira satisfatória a utilização dessa escova em um canal de seção pequena, e em segundo lugar a determinação de sua eficiência e capacidade através de pequenos tanques, ou seja, podendo este parâmetro ser determinado em laboratório.

A Figura 3.2 mostra diagramas, que permitem o cálculo da eficiência de dois tipos de rotores de eixo horizontal desenvolvidos posteriormente. A eficiência de ambos, é cerca de 2 a 4 vezes maior que as escovas convencionais de Kessener.

3.2.2 FINALIDADES

Pode-se afirmar que no valor de oxidação a aeração mecânica componente do processo apresenta três funções: (1)

- a) Fornecer o oxigênio requerido para o processo metabólico dos organismos;
- b) Promover a circulação e agitação requerida para evitar a sedimentação dos sólidos e para conservar os organismos do lodo em contato íntimo com a matéria orgânica suspensa e dissolvida;
- c) Eliminar da água produtos residuários voláteis metabolizados, como por exemplo o CO_2 .

Na maioria dos casos a primeira destas funções é a que estabelece a quantidade mínima de ar a ser introduzido. Os itens a e c são de transferência de massa, e por isto para um funcionamento eficiente requerem a criação de uma grande área interfacial entre água e o ar. O item b, requer que seja dada uma energia mecânica suficiente à água.

Na respiração, os organismos utilizam apenas o oxigênio dissolvido existente, sendo de boa prática fornecê-lo na mesma proporção que é consumido. No entanto, a experiência tem demonstrado, que a absorção de oxigênio pelos microrganismos é independente do nível de concentração de oxigênio dissolvido, quando esta concentração for maior que 0,5mg/l aproximadamente. A prática usual

A Capacidade de oxigenação (CO) e consumo de energia de um rotor com dentes de seção angular para diferentes profundidades de imersão e diferentes velocidades de rotação.

B Capacidade de oxigenação (CO) e consumo de energia de um rotor girando para diferentes profundidades de imersão e diferentes velocidades de rotação.

Fig. 3.2- CAPACIDADE DE OXIGENAÇÃO (CO) E CONSUMO DE ENERGIA PARA 2 TIPOS DE ROTORES COM DIFERENTES PROFUNDIDADES DE IMERSÃO E DIFERENTES VELOCIDADES DE ROTAÇÃO.

é manter um nível de pelo menos 2 mg/l. (1) Níveis de oxigênio dissolvido superiores a 4,0 mg/l, além de serem anti-econômicos, podem causar uma nitrificação excessiva trazendo como consequência problemas operacionais, tais como, o aparecimento de lodo flutuante no decantador secundário e baixo pH.

Segundo Eckenfelder e O'Connor, o oxigênio requerido em um processo da bio-oxidação é dado pela expressão:

$$O_2 \text{ utilizado (kg/dia)} = a \times \text{DBO}_5 \text{ removida (kg/dia)} + b \times \text{sólidos voláteis da mistura líquida (kg/dia)}$$

Na equação acima o primeiro termo à direita representa o oxigênio usado para a energia de crescimento dos organismos, também chamada de respiração ativa. O coeficiente a varia de 0,35 a 0,55 para uma grande variedade de resíduos industriais. No caso do processo de oxidação total o valor teórico de a é 0,66. O segundo termo representa a respiração endógena, sendo que o coeficiente b parece estar entre 0,07 e 0,20. Tanto o coeficiente a como o b dependem da natureza do resíduo, e podem ser determinados em laboratório.

Na Tabela 3.2 estão relacionados alguns dados da variação do oxigênio captado em função dos tipos de resíduo e de respiração.

Tabela 3.2 - Variação de Oxigênio Captado, de Alguns Tipos de Despejos.

Resíduo	Respiração	Relação mg O ₂ /h/g de Lodo
Doméstico	Ativa	10 - 20
Doméstico	Endógena	1,85 - 9,8
Laticínios	Ativa	40 - 45
Laticínios	Endógena	4 - 10
Fábrica de Enlatado	Ativa	35
Farmacêutico	Ativa	76
Celulose e Papel	Ativa	10 - 15

Fonte: Water Pollution Control Federation. Nov, 1969.

É interessante citar que, mesmo intuitivamente, percebe-se que a velocidade de estabilização dos despejos biodegradáveis depende do contato íntimo entre a DBO (alimento), os microrganismos e o oxigênio dissolvido, tornando por conseguinte a agitação uma necessidade.

Normalmente, em águas residuárias em que a areia é totalmente removida, uma velocidade de aproximadamente 0,15 m/s no fundo parece adequada para evitar sedimentações.

Nos valos esta velocidade é mantida entre 0,30 e 0,50 m/s, sendo a medida deste fator, um bom indicador da agitação.

A eliminação de produtos voláteis como o CO_2 , passa despercebida por ser um efeito natural benéfico da aeração, devido as características químicas do CO_2 (anídrido ácido) que contribuiria para o abaixamento do pH do despejo.

3.2.3 METODOLOGIA DO TESTE DE EFICIÊNCIA DE UM AERADOR

O teste Full-Scale de um equipamento de aeração, pode ser realizado usando água limpa debaixo de condições operacionais do processo.

O OD é removido através de uso de sulfito de sódio tendo um composto de cobalto como catalizador.

O oxigênio dissolvido é medido, após o aerador ter entrado em operação, sendo o valor do coeficiente de transferência de O_2 na temperatura T , K_T , calculado da declividade obtida do gráfico do deficit de O_2 na temperatura T x tempo de aeração.

Um procedimento detalhado do teste pode ser descrito da seguinte maneira: (1)

- 1) O tanque no qual o aerador será testado deve ser limpo completamente e então enchido com água da rede pública de abastecimento.
- 2) A temperatura da água fresca, se possível deverá estar nas vizinhanças de 20°C .
- 3) O aerador é então colocado nas condições de operação conveniente.
- 4) Bombas para amostras de profundidade são instaladas nos pontos selecionados do tanque. O número mínimo e a locação dos pontos de amostragem deve ser baseado no tipo, nas dimensões e geometria do aerador.
- 5) Um catalizador de cloreto de cobalto, ou sulfato de cobalto, é dissolvido no conteúdo do tanque, com o aerador trabalhando para assegurar a mistura. Para o cloreto de cobalto usa-se a quantidade de 317,8 g para cada 37900 l de água.
- 6) Enquanto o aerador está trabalhando, a solução de sulfito de sódio é jogada no tanque pelo menos em dois lugares diferentes. Para um líquido tendo inicialmente uma concentração de oxigênio

dissolvido de 10 mg/l, aproximadamente 363 kg de sulfito de sódio seco serão requeridos por 3785 m³ de líquido por teste ou 363 g de sulfito de sódio para cada 37900 l de água por mg/l de oxigênio dissolvido. Deve-se suprir um excesso, para compensar a oxidação durante a mistura.

- 7) Enquanto o OD cresce no tanque, as amostras são formadas em intervalos de 1 a 2 minutos. Os intervalos devem ser selecionados para tomarmos ao menos 6 amostras entre 10 a 70% da saturação. O OD é feito pelo método de Winkler e de cada amostragem feita, tira-se uma medida.
- 8) Com o aerador trabalhando, medidas elétricas são feitas de potências consumidas. Curvas de calibração, fornecidas pelos fabricantes, são utilizadas para correção da eficiência do motor e engrenagem de tal forma que a potência consumida possa ser convertida em potência de saída, sendo de preferência determinada com o uso de um equipamento de torque no eixo. Para potência de diesel usar um sistema para medir o torque.
- 9) Constrói-se um diagrama semi-log do deficit de oxigênio dissolvido contra o tempo. Apenas pontos entre 10 e 70% deverão ser considerados. O deficit é a diferença entre a concentração de saturação para a água na temperatura de operação e a concentração de OD a qualquer tempo t . A curva que melhor servir, é traçada através dos pontos abordados.
- 10) O valor de K_T é calculado pela equação:

$$K_T = \frac{138 \times (\log D_{t_1} - \log D_{t_2})}{t_2 - t_1}$$

K_T = Coeficiente de transferência de O₂, na temperatura T (h⁻¹)

D_{t_1} = Deficit de O₂ no tempo t_1 (ppm)

D_{t_2} = Deficit de O₂ no tempo t_2 (ppm)

t_1 e t_2 = tempos correspondentes a D_{t_2} e D_{t_1} (min)

- 11) A correção do coeficiente K_T para 20°C pode ser feita usando a fórmula:

$$K_{20^\circ\text{C}} = K_T (1,024)^{20-T}$$

12) A taxa de transferência (R) do aerador ou eficiência pode ser obtida finalmente pela expressão:

$$R = \frac{K_{20^{\circ}\text{C}} (8,34/10^6) \times W \times C_s}{P}$$

R = Taxa de transferência de O_2 (lb O_2 /HP/h)

$K_{20^{\circ}\text{C}}$ = Coeficiente de transferência de O_2 na temperatura de 20°C

$8,34/10^6$ = Fator de conversão de ppm para pounds per million

W = Capacidade do sistema em galões

P = Potência efetiva de consumo em HP

C_s = Solubilidade de O_2 a 20°C

Neste ponto é bom salientar, que os valores da concentração de saturação de O_2 utilizados no teste, bem como os valores obtidos de K_T são para a água limpa, tendo estes parâmetros valores diferentes para cada tipo de despejo. Daí surgiu a necessidade de definição de dois novos coeficientes.

$$\alpha = \frac{\text{Coeficiente de transferência de } \text{O}_2 \text{ na amostra de esgoto}}{\text{Coeficiente de transferência de } \text{O}_2 \text{ na amostra de água limpa}}$$

$$\beta = \frac{\text{Concentração de saturação de } \text{O}_2 \text{ no esgoto}}{\text{Concentração de saturação de } \text{O}_2 \text{ na água limpa}}$$

Um procedimento detalhado para a determinação dos coeficientes α e β pode ser descrito da seguinte maneira: (3)

- 1) Trazer a amostra da água e do esgoto para a temperatura ambiente.
- 2) Aerar as amostras, paralelamente ou em série vigorosamente durante 30 a 60 minutos para assegurar as saturações de ambas.
- 3) Determinar a saturação de oxigênio para cada amostra, obtendo-se assim o valor de β .
- 4) Retirar o O_2 de ambas as amostras usando o gás nitrogênio ou o sulfito de sódio com o cloreto de cobalto como catalizador.
- 5) Rearar as amostras e determinar o OD, cada 5 minutos. Se a saturação é alcançada muito cedo (antes de 6 ou mais amostras serem tomadas), diminuir a taxa de aeração e começar o processo novamente.
- 6) Determinar o deficit de O_2 para cada tempo subtraindo o valor

de saturação de OD para um determinado tempo t .

- 7) Plotar os deficits de O_2 contra o tempo em papel semi-logaritmico para ambos os casos, determinando-se através da inclinação das retas obtidas os valores de K_T . Em seguida determina-se o valor de α pela divisão de K_T do esgoto pelo K_T da água.

No ítem 3.2.5 será apresentado um exemplo prático de determinação desses coeficientes.

3.2.4 : TESTE DE REOXIGENAÇÃO, EM UM VALO DE OXIDAÇÃO (11)

3.2.4.1 INTRODUÇÃO

O valo de oxidação do presente trabalho, foi projetado e inicialmente operado pela Divisão de Estudos Especiais da CETESB, pertencendo a uma usina de Cooperativa Central de Laticínios do Estado de São Paulo, na cidade de Santa Branca, situada no Vale do Paraíba, distando 112 km da Capital, pela rodovia Presidente Dutra. A via de acesso é pela estrada estadual que liga Santa Branca e Jacareí à rodovia Presidente Dutra.

O município está situado nas seguintes coordenadas:

- Latitude sul $23^{\circ} 27'$
- Longitude oeste $45^{\circ} 52'$

A altitude da cidade é de 600 metros em relação ao nível do mar e a temperatura média anual é de 18°C .

Com base em pesquisa bibliográfica, foi escolhido o valo de oxidação como tratamento mais adequado dos resíduos líquidos da usina, por ser o mesmo capaz de permitir uma fácil operação e manutenção.

Dados básicos do projeto:

- Quantidade de leite tratado = 30.000 l/dia
- População equivalente = 900 habitantes
- Volume do valo = 88 m^3
- Rotor tipo Penha
 - . comprimento = 1,20 m
 - . diâmetro = 0,70 m
 - . submergência = 0,12 m
 - . nº de rotações por minuto = 100
- Dimensões do valo
 - . largura = 1,80 m
 - . altura da lâmina líquida = 1,20 m
 - . comprimento = 41 m

- Potência do motor = 4 HP
- Leitões de secagem = 2 (5 x 4 m)
- Decantador tubular
 - . área = 0,80 m²
 - . quantidade de placas = 10 telhas "ELVIC" em PVC rígido do modelo GRECA (2 x 1 m)
 - . inclinação = 55° com a horizontal
 - . comprimento = 0,65 m

Este item tem como escopo principal a determinação do parâmetro taxa de transferência de oxigênio, através de dois tipos de rotores empregados comumente em nosso País, nesse tipo de tratamento, visando a obtenção de valores reais para a aplicação em projetos.

3.2.4.2 METODOLOGIA

A metodologia, aplicada para o desenvolvimento do teste, obedeceu ao que foi descrito no item 3.2.3.

As amostras para a realização do teste foram colhidas em 2 pontos de baixa turbulência, mostrados na Figura 3.3.

Fig. 3.3 - Desenho em planta do valão com indicação dos pontos de amostragem

- A e B = Pontos de amostragem
- C = Rotor
- D = Redutor de velocidade
- E = Motor
- F = Decantador tubular

3.2.4.3 TESTE PROPRIAMENTE DITO

Os testes foram desenvolvidos com dois tipos de rotores e com as seguintes características:

- Tipo "Penha", 0,70 m de diâmetro, 103 rpm, 1,20 m de comprimento, 0,10 m de submersão com 4 e 8 pás.
- Tipo "HESS", 0,70 m de diâmetro, 103 rpm, 1,00 m de comprimento, 0,07 e 0,10 m de submersão.

Nas Tabelas 3.3 e 3.4 encontram-se os dados obtidos experimentalmente.

Tabela 3.3 - Valores de Tensão, Corrente e Potência em Função dos Tipos de Rotores.

Tipo de Rotor		Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (HP)
P E N H A	4 pás	240	7,8	3,69
	8 pás	240	9,2	4,35
H E S S	0,07 m	240	8,2	3,88
	0,10 m	240	8,6	4,07

Fonte: Levantamento de campo da Divisão de Estudos Especiais da CETESB/73.

NOTA: A potência foi calculada pela expressão:

$$P = \frac{\sqrt{3} \text{ VI } \cos \gamma}{1000}$$

onde o fator de potência $\cos \gamma$ foi tomado como 0,85.

Tabela 3.4 - Valores de Tempo e Deficit de Oxigênio Dissolvido em Experiências Realizadas com Tipos de Rotores Diferentes em Função do Tipo e Características de Funcionamento do Rotor.

Data: 21/05/73 Rotor: "Penha" - 4 pás 103 rpm Temp. Água: 20°C (C _s = 8,5mg/l) Submergência: 10 cm		Data: 21/05/73 Rotor: "Penha" - 8 pás 103 rpm Temp. Água: 21°C (C _s = 8,3mg/l) Submergência: 10 cm		Data: 25/05/73 Rotor: "Hess" 103 rpm Temp. Água: 21°C (C _s = 8,3mg/l) Submergência: 07 cm		Data: 01/06/73 Rotor: "Hess" 103 rpm Temp. Água: 20°C (C _s = 8,5mg/l) Submergência: 10 cm	
Tempo t. (min:seg)	Deficit OD (mg/l)	Tempo t. (min:seg)	Deficit OD (mg/l)	Tempo t. (min:seg)	Deficit OD (mg/l)	Tempo t. (min:seg)	Deficit OD (mg/l)
00:00	8,2	00:00	7,3	00:00	7,7	00:00	7,6
02:00	8,3	01:30	6,8	02:00	6,9	01:00	7,6
06:00	7,5	03:00	6,1	03:00	6,6	03:00	7,4
07:30	7,4	04:00	5,9	05:00	6,1	04:00	6,9
09:00	6,9	06:00	5,5	07:00	5,6	05:30	5,9
10:00	6,8	08:00	4,8	09:00	5,2	07:00	5,6
12:00	6,4	10:00	4,4	12:00	4,4	08:00	5,1
15:00	6,1	15:00	3,4	14:00	4,2	10:00	4,5
18:00	5,5	20:00	2,8	17:00	3,7	12:00	3,8
22:00	5,2	30:00	1,8	22:00	2,8	17:00	2,8
27:00	4,5	40:00	1,2	27:00	2,5	22:00	2,0
32:00	3,9	-	-	32:00	2,0	27:00	1,6
37:00	3,6	-	-	37:00	1,8	-	-
42:00	3,3	-	-	-	-	-	-
52:00	2,6	-	-	-	-	-	-

Fonte: Levantamento de campo da Divisão de Estudos Especiais da CETESB/73

Mais adiante, encontram-se os gráficos construídos com base nos dados experimentais, de onde foram tirados os valores do deficit de oxigênio e tempo, relacionados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Valores dos Deficits de Oxigênio e dos Tempos Correspondentes em Função do Tipo e Características de Funcionamento do Rotor.

Tipo de Rotor e Características de Funcionamento	Deficit de O_2		Tempo	
	D_{t_1} (mg/l)	D_{t_2} (mg/l)	t_1 (min)	t_2 (min)
Tipo Penha - 4 pás Submergência: 0,10 m	8,9	2,6	0	50,0
Tipo Penha - 8 pás Submergência: 0,10 m	7,2	1,0	0	43,5
Tipo Hess Submergência: 0,07 m	7,4	1,0	0	48,5
Tipo Hess Submergência: 0,10 m	8,7	1,0	0	32,7

Fonte: Dados obtidos dos gráficos.

Com base nos valores das Tabelas 3.3 e 3.5, determinou-se R em função do tipo do rotor e características de funcionamento, cuja sequência de cálculo é mostrada no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Sequência de Cálculo de Obtenção da Taxa de Transferência de O_2 em Função do Tipo de Rotor e Características de Funcionamento.

<div> <div>Parâmetros Calculados</div> <div>Tipo e Características de Funcionamento do Rotor</div> </div>	K_T (h^{-1})	K_{200C} (h^{-1})	R ($lb\ O_2/HP/h$)	R ($kg\ O_2/HP/h$)	R ($kg\ O_2/HP/h/m$)
Rotor: Penha - 4 pás Submersão: 0,10 m	1,47	1,47	0,63	0,29	0,24
Rotor: Penha - 8 pás Submersão: 0,10 m	2,72	2,66	0,97	0,44	0,37
Rotor: Hess Submersão: 0,07 m	2,47	2,41	0,99	0,45	0,45
Rotor: Hess / Submersão: 0,10 m	4,00	4,00	1,56	0,71	0,71

NOTA: Capacidade do sistema (volume do valo) $85\ m^3$ ou 22440 gal, calculada em planta com lâmina d'água de 1,20m. A concentração de saturação de oxigênio dissolvido foi calculada com base na altitude de 600 m (2.000 pés).

$C_s\ (20^{\circ}C) = 8,5\ ppm$

$C_s\ (21^{\circ}C) = 8,3\ ppm$

GRÁFICO I - DEFICIT DE O₂ CONTRA O TEMPO

DATA: 21/05/73
 ROTOR: TIPO PENHA (4 PÁS)
 SUBMERGÊNCIA: 0.10 m
 TEMPERATURA: 20° C
 R. P. M.: 103
 C_s: 8.5 mg/l

GRÁFICO II - DEFICIT DE O₂ CONTRA O TEMPO

DATA: 21/05/73
 ROTOR: TIPO PENHA (8 PÁS)
 SUBMERGÊNCIA: 0.10 m
 TEMPERATURA: 20° C
 R. P. M.: 103
 C_s: 8.5 mg/l

GRÁFICO III - DEFICIT DE O₂ CONTRA O TEMPO

GRÁFICO IV - DEFICIT DE O₂ CONTRA O TEMPO

Para obter-se a taxa de transferência de oxigênio dentro das condições padrões, deve ser levado em conta ainda a altitude do local da estação, através da correção do valor de C_s pela expressão:

$$(C_s)_{1 \text{ atm}} = (C_s)_p \times \frac{760 - p_{20^\circ\text{C}}}{P - p}$$

$(C_s)_p$ = Solubilidade de O_2 na pressão local

P = Pressão local (709 mm de Hg - 600 m de altitude)

$p_{20^\circ\text{C}}$ = Pressão de vapor da água a 20°C (17,5 mm de Hg)

p = Pressão de vapor da água na temperatura do teste

No caso em questão, a temperatura de dois testes foi de 21°C e a dos outros 20°C . Tomando para $p_{21^\circ\text{C}}$ o mesmo valor de $p_{20^\circ\text{C}}$, devido esta diferença ser insignificante, a correção de R será obtida pela multiplicação do fator:

$$\frac{760 - 17,5}{709 - 17,5} = 1,074$$

A Tabela 3.6, mostra os valores obtidos para as condições padrões.

Tabela 3.6 - Valores da Taxa de Transferência de Oxigênio para as Condições Padrões, em Função do Tipo e Características de Funcionamento do Rotor.

Tipo e Características de Funcionamento do Rotor	R	kg O_2 /kWh	kg O_2 /h m de rotor	kW/m de rotor
Rotor: Penha - 4 pás Submergência - 0,10 m 103 rpm		0,42	0,96	2,29
Rotor: Penha, 8 pás Submergência - 0,10 m 103 rpm		0,63	1,71	2,70
Rotor: Hess Submergência - 0,07 m 103 rpm		0,65	1,88	2,89
Rotor: Hess Submergência - 0,10 m 103 rpm		1,02	3,10	3,03
Rotor: Gaiola (*) Submergência - 0,10 m 103 rpm		1,74	3,75	2,15

(*) O rotor Gaiola, cujos dados foram obtidos da Figura 4.2 do capítulo 4, apresenta maior eficiência que o rotor Hess operando nas mesmas condições.

3.2.4.4 CONCLUSÕES

Dos testes de reoxigenação realizados com os dois tipos de rotores de eixo horizontal pode-se observar que:

- no tipo Penha a taxa de transferência de oxigênio (R) aumentou com o número de pás instaladas, para uma mesma submersão (0,10m).
- no tipo Hess essa mesma taxa aumentou quando do aumento da submersão de 0,07m para 0,10m.
- na comparação do rotor tipo Hess com o tipo Penha de 8 pás, observou-se que o primeiro apresentou uma eficiência de fornecimento por unidade de potência e por metro linear, quase duas vezes maior.

Tal resultado sugere como fatores prováveis:

- . menor peso do rotor tipo Hess
- . forma do rotor Hess, dispondo de maior número de elementos físicos em contacto com a massa líquida, produzindo dessa forma uma quantidade maior de respingos, resultando numa maior facilidade de arremesso de gotas de água dentro do ar, bem como a introdução de bolhas de ar dentro da massa de água, obtendo-se, por conseguinte, uma maior reoxigenação.
- os resultados obtidos dos testes efetuados parecem ter maior utilidade quanto ao aspecto comparativo do que propriamente absoluto. Esta afirmação é baseada no fato de que o rotor Hess com estrutura semelhante ao do Gaiola, mas possivelmente de peso inferior devido ao uso de madeira em sua constituição, apresentou uma menor eficiência em relação ao segundo rotor citado. Provavelmente, o uso no projeto da taxa de 85 m³ de valo por metro de rotor, valor este muito inferior ao recomendado para valos revestidos (165 a 200 m³/m de rotor), tenha sido responsável pelo baixo valor encontrado, devendo uma parte adicional de energia (além da necessária) estar sendo utilizada para aumento da velocidade do líquido no tanque.

Para os próximos trabalhos nesse mesmo tema recomenda-se a medição do fator de potência visando obter valores de transferência de oxigênio mais acurados.

É bom observar que os valores obtidos foram para a água limpa, de vendo-se, no momento de seu uso, corrigi-los em função do tipo de despejo a ser tratado, operação essa que poderá ser feita através dos coeficientes α e β .

3.2.5 EXEMPLO DE DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES α E β

A metodologia aplicada segue a já descrita anteriormente no item 3.2.3 deste capítulo.

Os dados abaixo foram obtidos seguindo os procedimentos padrões descritos anteriormente.

Tabela 3.7 - Valores de Oxigênio Dissolvido com seus Respectivos Deficits em Função do Tempo, para Água Limpa e Determinado Tipo de Despejo na Temperatura de 19°C.

Água Limpa $C_s = 9,2 \text{ mg/l}$			Água Residuária $C_s = 9,0 \text{ mg/l}$		
Tempo (min)	OD (mg/l)	Deficit (mg/l)	Tempo (min)	OD (mg/l)	Deficit (mg/l)
5	1,20	8,00	5	0,80	8,20
10	3,00	6,20	10	2,20	6,80
15	4,20	5,00	15	3,50	5,50
20	5,20	4,00	20	4,30	4,70
25	6,00	3,20	25	5,10	3,90
30	6,70	2,50	30	5,80	3,10
35	7,20	2,50	35	6,40	2,60
40	7,60	1,60	40	6,90	2,10
45	-	-	45	7,25	1,75
50	-	-	50	7,50	1,50

Fonte: AEROBIC - SYSTEMS INC - Manual Técnico.

O valor de β será:

$$\beta = \frac{C_s \text{ (água residuária)}}{C_s \text{ (água limpa)}}$$

$$\beta = \frac{9,0}{9,2} = 0,98$$

O valor de α é obtido após os dados da Tabela 3.6 serem plotados, como é mostrado a seguir na Figura 3.4.

Para a água residuária o valor de K_T será:

$$K_T \text{ (esgoto)} = \frac{2,3 (\log 10 - \log 1) 60 \text{ min/h}}{60 \text{ min}} = 2,30 \text{ h}^{-1}$$

Para a água limpa, o valor de K_T será:

$$K_T \text{ (água)} = \frac{2,3 (\log 10 - \log 1) 60 \text{ min/h}}{50 \text{ min}} = 2,76 \text{ h}^{-1}$$

obtendo-se para o valor de:

$$\alpha = \frac{K_T \text{ (esgoto)}}{K_T \text{ (água)}} = \frac{2,30}{2,76}$$

$$\alpha = 0,835 \approx 0,83$$

4. PROJETO
4.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

Na pesquisa de um método simplificado para tratamento de esgotos Pasveer concluiu que:

- 1) Aumentando a relação do oxigênio fornecido para a carga orgânica (DBO_5) de 1,5 (processo convencional de lodos ativados) para 2, era possível oxidar o lodo primário;
- 2) Era possível, obter-se um efluente depurado e um lodo em avançado estado de mineralização, através de um tanque de aeração, cuja capacidade fosse de 300 l para cada 54 g de DBO_5 e um tempo de detenção de 3 dias;
- 3) O lodo oriundo do referido tanque se oxidava a tal ponto, que poderia ser secado sem necessidade de tratamento prévio;
- 4) A função do decantador secundário poderia ser executada pelo tanque de aeração, bastando que se interrompesse a aeração até que o lodo sedimentasse, e o líquido sobrenadante clarificado e depurado fosse drenado.

Esses resultados mostraram ser possível o desenvolvimento de uma unidade que satisfizesse os objetivos citados, no caso o valo de oxidação, possuindo normalmente os seguintes elementos:

- gradeamento
- caixa de areia
- câmara de aeração (unidade central ou valo propriamente dito)
- leito de secagem

No valo, o rotor de aeração é responsável pelo fornecimento de oxigênio ao sistema, substância essa necessária à oxidação biológica que ali ocorre.

Em estações mais refinadas, existe um decantador secundário que permitirá a obtenção de um efluente isento de sólidos decantáveis e um funcionamento ininterrupto. O líquido clarificado passa sobre um vertedouro, indo para o corpo receptor, passando ou não antes por um tanque de contato onde é feita a cloração, dependendo do padrão de qualidade e garantia do efluente que se quer obter.

Atualmente já se consegue a operação contínua, através de canais de separação. A decantação é feita ora pelo canal 1, ora pelo canal 2 (Figura 4.1), sendo esta alternatividade controlada pelas comportas nº 1 e nº 2 respectivamente. (4)

Fig. 4.1- Valo de oxidação com canais separadores.

Neste processo geralmente não se utiliza um tratamento primário completo, ou seja, o esgoto bruto, após somente ser gradeado e passar por uma caixa de areia é jogado diretamente na unidade central, onde é misturado ao fluxo já existente composto de organismos ativos. A não inclusão de um decantador primário é possibilitada graças à quantidade de lodo mantida no tanque e ao seu grande volume, capacitando o sistema de suportar grandes picos de cargas orgânicas, choques biológicos e cargas tóxicas.

4.2 CRITÉRIOS DE PROJETO

4.2.1 DIMENSÕES DO VALO

4.2.1.1 VOLUME

O volume da unidade central, pode ser determinado através:

- a) do período de aeração;
- b) da taxa volumétrica de aplicação;
- c) da máxima concentração de sólidos pelo Índice de Mohlman;
- d) da produção do lodo em excesso num sistema em aeração;
- e) do processo de lodos ativados baseado na idade de lodo.

O primeiro critério, arquitetado por Pasveer, baseou-se em suas observações de auto-depuração de um curso d'água, fixando para o período de aeração o tempo de 3 dias.

A taxa volumétrica de aplicação, de 180g DBO₅/dia/m³ de valo fixada por Baars, foi obtida de pesquisas feitas em pequenas comunidades da Holanda

da que tinham como média por habitante uma contribuição de carga orgânica de 54g DBO₅/dia e um consumo correspondente de 100 l/dia.

O terceiro critério surgiu da necessidade de aplicação do processo para esgotos industriais fortes, pois os dois anteriores ocasionavam dimensões muito grandes. A taxa de aplicação neste caso é função da quantidade de sólidos em suspensão existentes no valo, sendo o valor médio adotado 50g DBO₅/dia por Kg de resíduo seco. O Índice de Molhman ou Índice de Lodo, controla a quantidade desse resíduo seco, além de avaliar a decantabilidade de lodo no tanque de sedimentação final. A Tabela 4.1, mostra valores do Índice de Lodo, confrontando com sua sedimentabilidade.

Tabela 4.1 - Correlação Existente entre Índice de Lodo, Sedimentabilidade e Taxa de Aplicação

Índice de Lodo	Sedimentabilidade	Taxa Máxima de Aplicação (gDBO ₅ /m ³)	Obs.
< 50	Perfeita	> 1000	Efluente sem turbidez
50-100	Muito boa	1000 - 500	Efluente bom
100-200	Tolerável	500 - 250	Perigo de entumescência e perda do lodo
200-400	Mã	250 - 125	Lodo "doente"
> 400	Praticamente Impossível	< 125	Perda total do lodo

Fonte: HESS, M.L. - Desenhos de lagoas de oxidação, 1971.

A terceira coluna da Tabela 4.1 é calculada baseando-se em que a concentração de sólidos da mistura líquida é no máximo igual a do lodo recirculado. Se o Índice de Lodo for 80ml/g (portanto entre 50 a 100), a concentração máxima de sólidos seria:

$$\frac{1000\text{ml/l}}{80\text{ml/g}} = 12,5 \text{ g/l}$$

que com a taxa de 0,050gDBO₅/dia por g de resíduo seco, obteríamos uma taxa máxima de aplicação:

$$12,5\text{g/l} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 0,050\text{gDBO}_5/\text{dia g} = 625\text{gDBO}_5/\text{m}^3$$

portanto entre 1000 e 500.

Para o esgoto doméstico, onde é normal a concentração de sólidos da mistura líquida de 4g/l, obtem-se uma taxa de aplicação de:

$$200\text{gDBO}_5/\text{m}^3$$

valor próximo do parâmetro de Baars.

Recentemente nos Estados Unidos tem se usado, para esgotos domésticos, a taxa média de 216gDBO₅/m³, para esgotos fracos, 160gDBO₅/m³ e para esgotos industriais fortes, valores algumas vezes até ligeiramente superiores a 640gDBO₅/m³ (19). A taxa utilizada para esgotos industriais fortes depende da força, tipo e tratabilidade do esgoto em relação a degradação aeróbica.

O quarto critério faz a suposição que, no balanço para cálculo do lodo em excesso, dado pela expressão:

$$\Delta X_v = a \cdot (S - S_e) \cdot Q - b X_v \cdot V$$

$\Delta X_v = 0$ (aeração prolongada); ficando então:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{a (S - S_e)}{b X_v}$$

Com a expressão acima, calcula-se o tempo de detenção, conhecendo-se evidentemente os valores de a e b.

O quinto processo sugerido pelo Prof.G.V.R.Marais da África do Sul, é baseado fundamentalmente na idade de lodo, fator por ele considerado o mais importante na operação de uma estação de tratamento por lodos ativados.

A medição do substrato é feita em termos de DQO e é assumido que o processo funciona num regime de mistura completa, ou seja, o influente é completamente misturado com o conteúdo do tanque, sendo que a DQO do efluente é idêntica a do líquido no reator.

A taxa de recirculação não tem influência na cinética do reator. No entanto, na prática, este fato não será verdadeiro quando a recirculação for baixa, devido a uma grande acumulação de lodo ocorrer no decantador.

A seguir será apresentado de uma maneira sucinta a teoria do processo. (10) (17)

Inicialmente será analisado as partes componentes da DQO nos esgotos municipais.

Seja:

S_o = DQO total (mg/l)

S_i = DQO biodegradável (mg/l)

S_u = DQO não biodegradável solúvel (mg/l)

S_{Xii} = DQO não biodegradável inerte no influente (mg/l)

$S_i = S_o - S_u - S_{Xii}$

As relações empíricas entre S_u e S_{Xii} em termo de S_o , conhecidas são:

$S_u = (0,05 \text{ a } 0,1)S_o$; sendo mais comum o valor 0,05

$S_{Xii} = (0,07 \text{ a } 0,13)S_o$; para o esgoto presedimentado $S_{Xii} = 0$

Para esgoto municipal não presedimentado, a expressão comumente utilizada é:

$S_i = 0,88S_o$

Monod estabeleceu que a taxa de crescimento é uma função da concentração de nutrientes na vizinhança dos microrganismos

$$\frac{dX_a}{dt} = \mu X_a \quad \text{sendo} \quad \mu = \frac{\mu_{\max} \cdot S}{K_s + S}$$

μ = Relação de Monod (taxa de crescimento específico de um organismo)

X_a = Concentração da massa ativa

S = Concentração do substrato

K_s = Valor de S para $\mu = 1/2 \mu_{\max}$

Na estabilização do despejo, $S \ll K_s$, ficando:

$$\mu = \frac{\mu_{\max} \cdot S}{K_s} = K' S, \text{ ou ainda}$$

$$\frac{dX_a}{dt} = K' S X_a \quad (1)$$

Por sua vez a massa de organismos sintetizada é proporcional ao substrato, ou seja:

$$dX_a = Y dS \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1) vem:

$$\frac{Y dS}{dt} = K' S X_a, \text{ ou}$$

$$\frac{dS}{dt} = K S X_a \quad (3), \text{ e}$$

$$\frac{dX_a}{dt} = Y K S X_a \quad (4), \text{ onde } K = K'/Y$$

$Y = (0,43)$ - Coeficiente de produção de crescimento (relação VSS formado/unidade de DQO utilizado).

$K = (0,07)$ - Constante de conversão do substrato (l/mg.dia).

A perda de massa na respiração endógena será dado por:

$$\frac{dX_a}{dt} = - b X_a \quad (4)$$

$$b = 0,24 \text{ dia}^{-1}$$

e o crescimento do resíduo endógeno por:

$$\frac{dX_e}{dt} = 0,2bX_a(5)$$

0,2 - 20% não biodegradável.

Outro conceito muito importante é da idade do lodo, sendo definida como:

$$R_s = \frac{\text{massa de lodo no reator}}{\text{massa de lodo descartada/dia}}$$

$$R_s = \frac{V \cdot X}{q \cdot X} = \frac{V}{q} \quad (6)$$

Q = Vazão nominal

V = Volume do reator

S_i = DQO biodegradável do influente

S = DQO biodegradável do efluente e do líquido no reator

X = Parâmetro geral do lodo (sempre em sólidos voláteis)

q = Vazão de descarte do lodo

a - ativo; e - endógeno; i - inerte; ii - inerte no influente

Os sólidos voláteis totais (MLVSS), terá como valor:

$$X_v = X_a + X_e + X_i \quad (7)$$

A seguir estão apresentados os balanços feitos no sistema no que toca ao:

a) Sólidos ativos (lodo)

$$\left[\begin{array}{c} \text{mudança} \\ \text{de} \\ \text{massa} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{geração} \\ \text{de} \\ \text{lodo} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{lodo} \\ \text{descartado} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{massa perdida na} \\ \text{respiração endógena} \end{array} \right]$$

$$VdX_a = YKSX_aVdt - X_aqdt - X_aVbdt$$

$$\frac{dX_a}{dt} = YKSX_a - \frac{X_aq}{V} - X_{ab}$$

No Steady State $\frac{dX_a}{dt} = 0$; e tendo que $\frac{V}{q}$ é igual a R_S , resulta:

$$S = \frac{1 + bR_S}{YKR_S} \quad (8)$$

b) Nutrientes no líquido (DQO)

$$\left[\begin{array}{c} \text{mudança} \\ \text{no} \\ \text{substrato} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{adição} \\ \text{do} \\ \text{influenta} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{utilização} \\ \text{biológica} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{descarga} \\ \text{do} \\ \text{efluente} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{descartado} \end{array} \right]$$

$$VdS = S_iQdt - KSX_aVdt - S(Q-q)dt - Sqdt$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{S_iQ}{V} - KSX_a - \frac{SQ}{V}$$

No Steady State $\frac{dS}{dt} = 0$; e tendo que $\frac{V}{Q}$ é igual a R (tempo de de tenção), resulta:

$$S = \frac{S_i}{1 + KRX_a} \quad (9)$$

Substituindo o valor de K da (8) na (9) obtem-se:

$$X_a = \frac{Y(S_i - S)R_S}{(1 + bR_S)R} \quad (10)$$

Temos ainda que:

$$MX_a = X_aV$$

$$MX_a = \frac{Y(S_i - S)R_S.V}{(1 + bR_S)R}$$

$$\frac{V}{R} = Q$$

$$MX_a = \frac{Y(S_i - S)QR_s}{(1 + bR_s)}$$

$$(S_i - S)Q = M_{\Delta S}$$

$$MX_a = \frac{YR_s M_{\Delta S}}{1 + bR_s} \quad (11), \text{ sendo } M_{\Delta S} \text{ a massa de DQO removida por dia.}$$

c) Massa endôgena

$$\begin{bmatrix} \text{mudança} \\ \text{de massa} \\ \text{endôgena} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{geração} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{descarte} \end{bmatrix}$$

$$VdX_e = 0,2bX_a dt - X_e q dt$$

$$\frac{dX_e}{dt} = 0,2bX_a - X_e q$$

No Steady State $\frac{dX_e}{dt} = 0$, resultando:

$$X_e = 0,2bR_s X_a \quad (12), \text{ e por conseguinte:}$$

$$MX_e = 0,2bR_s MX_a \quad (13)$$

d) Massa inerte

$$\begin{bmatrix} \text{mudança} \\ \text{de massa} \\ \text{inerte} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{adição} \\ \text{do} \\ \text{influyente} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{descartado} \end{bmatrix}$$

$$VdX_i = X_{ii}Q dt - qX_i dt$$

$$\frac{dX_i}{dt} = X_{ii} \frac{Q}{V} - \frac{X_i q}{V}$$

No Steady State $\frac{dX_i}{dt} = 0$, e tendo em conta ainda que $\frac{V}{Q}$ é R_s e $\frac{V}{Q}$ é R , resulta:

$$X_i = \frac{R_s}{R} X_{ii}$$

$$MX_i = \frac{R_s}{R} X_{ii} V$$

$$MX_i = X_{ii} Q R_s \quad (14)$$

Agora teremos que:

$$MX_v = MX_a + MX_e + MX_i \quad (15)$$

Fixando um X_v de operação obteremos o volume do tanque de aeração através da expressão:

$$V = \frac{MX_v}{X_v} \quad (16)$$

Como vimos acima, todas as expressões dependem fundamentalmente da idade de lodo R_s , e o tempo de detenção R será uma consequência de certos re-querimentos. Um exemplo prático será apresentado no Ítem 4.3.2.

É bom lembrar que, pela própria definição da idade de lodo o seu controle para obtenção de bons resultados deve ser feito hidraulicamente. Por exemplo em um valo trabalhando com um R_s de 40 dias, é necessário diariamente retirar $1/40$ do volume do tanque, sendo a mistura líquida encaminhada para um decantador auxiliar. O lodo sedimentado deve ser posto em leitos de secagem e o líquido sobrenadante clarificado enviado juntamente com o efluente do decanta-dor principal para o seu destino.

O volume dessa unidade auxiliar será relativamente pequeno. No entan-to, caso se queira reduzir a capacidade deste tanque, a operação de descarte poderá ser feita por exemplo em duas ou quatro vezes ao dia, e o volume a ser descarregado em cada vez será de $1/2 R_s$ e $1/4 R_s$ do volume do tanque de aera-ção respectivamente. No caso do exemplo citado acima as relações serão $1/80$ a $1/160$ do volume do reator.

4.2.1.2 SEÇÃO TRANSVERSAL

A largura do valo é determinada em função da velocidade da mistura líquida devendo ser esta, da ordem de 0,30 m/s, valor este determinado empiricamente, capaz de evitar a sedimentação dos sólidos em suspensão e proteger os taludes contra a erosão.

Volumes de valo com: 50 a 150 m³ (5), 150 a 200 m³ (2), 165 a 200m³ (19) (para valos revestidos) e 200 m³ (15) por m de rotor, foram encontrados como taxas para obtenção da velocidade recomendada. Pelo comprimento do rotor fica então determinada a largura mínima do valo, sendo no entanto recomendável não ser superior a 5 m (15). Nestes casos devem ser utilizados mais de um rotor.

A forma do valo é geralmente uma elipse alongada de seção transversal trapezoidal. No entanto sua forma pode ser circular ou outra qualquer desde que forme um circuito fechado.

A altura da lâmina líquida varia geralmente de 0,80 a 1,20 m, sendo 1 m o valor mais comum. Como exceção existe atualmente o sistema "Carrousel", variante do valo com rotor de eixo vertical, que está sendo proposto para populações equivalentes até 150.000 habitantes possuindo uma altura de lâmina líquida de até 4 m (Localidade de Kerkrade na Holanda). (31)

4.2.1.3 COMPRIMENTO

A partir do volume e seção transversal, determina-se o comprimento do valo, que deve ser medido no eixo longitudinal do circuito.

4.2.1.4 DISPOSITIVO DE ENTRADA E SAÍDA

O lançamento é feito no valo diretamente através de uma tubulação a montante do rotor de aeração, devendo o esgoto passar antes por um gradeamento, um medidor de vazão (geralmente uma calha Parshall) e uma caixa de retenção de areia, podendo estes dispositivos serem reunidos em uma só unidade.

A saída do líquido, quando existe um decantador secundário, é feita através de uma calha que permita a variação do nível da mistura líquida no valo, para controle da imersão dos rotores. No caso da decantação ser feita no próprio valo, utilizando o tanque de aeração como sedimentador, a saída é proporcionada através de sifões ou outros dispositivos, que até agora mostraram

nao ser muito eficientes no que toca a transparência do efluente.

4.2.2. O ROTOR

O rotor nos valos de oxidação é colocado perpendicularmente ao fluxo do líquido e como foi explicado anteriormente tem a função de fornecer a propulsão necessária para a mistura completa e introduzir o oxigênio para as atividades biológicas. Há poucos modelos de rotores, sendo todos originários da escova Kessener. O mais comum é o rotor gaiola, constituído de 12 barras horizontais de aço onde se encontram pás de 5 cm de largura distanciadas de 5 cm, tendo 0,70 m (27 1/2") de diâmetro operando com imersão de 6 a 25 cm.

A rotação do rotor é muito importante, pois influencia grandemente na transferência de oxigênio ao processo e na velocidade da mistura líquida. Para o projeto deve-se preconizar uma velocidade de rotação entre 70 rpm e 110 rpm. (24), valores estes que respectivamente evitam a sedimentação dos sólidos e o alto consumo de energia elétrica, acompanhado de velocidades excessivas no valo.

Atualmente, em fase de experiência estão se utilizando rotores com 1 m de diâmetro (mamutes) e rotações mais lentas.

No Brasil se utilizam comumente, os rotores tipo Hess e o Penha cuja taxa de transferência, para algumas rotações e imersões, foram determinadas no Item 3.1.4.

Potência suficiente precisa ser fornecida para permitir a imersão máxima considerada num determinado projeto. Sob condições de ótimo rendimento é possível se obter 3090 g de oxigênio produzido por kW.

O fator de conversão na utilização do O_2 requerido do esgoto doméstico normal para aplicação em valos de oxidação, é 2,35 (19). Outros ajustes no fator de conversão deverão ser feitos para esgotos industriais. Correção também deverá ser feita para estações de tratamento localizadas em altitudes superiores a 600 m. No Brasil o valor mais comum utilizado para este fator é 2, segundo a orientação original feita por Pasveer. Com este fator, a DBO pode ser convertida em Kg de O_2 necessário nas condições padrões.

Dentro do processo sugerido por Marais (17), o oxigênio necessário (demanda da matéria carbonácea mais a da nitrogenada), é calculado da maneira mostrada a seguir:

a) Matéria carbonácea

A demanda da matéria carbonácea é dividida em duas partes: a utilizada na síntese e a utilizada na respiração endógena. A porção correspondente a síntese pode ser ilustrada pelo diagrama abaixo.

Da quantidade dS que entra no sistema, aproximadamente 60% é utilizado como material para novas células e 40% é gasto como energia no processo. O fator 1,42 é proveniente da descoberta de Eckenfelder e Weston, que 1 mg de VSS corresponde a 1,42 mg de DQO. Então o oxigênio necessário à síntese será:

$$dO = (1 - 1,42Y)dS$$

Para a respiração endógena será gasto

$$dO = 0,8 (1,42 bXa)$$

0,8 - 80% biodegradável

A massa de O_2 necessária será:

$$\left[\begin{matrix} \text{massa} \\ \text{de} \\ O_2 \end{matrix} \right] = \left[\begin{matrix} \text{síntese} \end{matrix} \right] + \left[\begin{matrix} \text{respiração endógena} \end{matrix} \right]$$

$$\frac{VdO}{dt} = (1 - 1,42Y) (S_i - S)Q + 0,8.1,42.bXaV$$

$$\frac{MO}{d} = (1 - 1,42Y)M\Delta S + 0,8.1,42bMXa$$

b) Matéria nitrogenada

A idade de lodo mínima para ocorrer a nitrificação no processo, com o despejo na temperatura de 20°C é de 3 dias, valor obtido da expressão:

$$R_{smin} = 3 \times (1,123)^{20 - T}$$

Para temperaturas maiores este limite será menor. A nitrificação fatalmente ocorrerá em valos de oxidação situados em climas tropicais e subtropicais, devido ao uso de uma idade de lodo no processo de 30, 40 e até 50 dias. Para que se tenha uma idéia, a temperatura do despejo, para que não ocorresse a nitrificação em valos, deveria ser abaixo de 0°C. No Brasil é necessário a inclusão no cálculo do oxigênio necessário, a parte correspondente à matéria nitrogenada, não só para os processos de aeração prolongada, mas também nos convencionais de lodos ativados. O diagrama abaixo ilustra as partes componentes do nitrogênio do esgoto influente (TKN)

N_i = Influyente - 0,1 So/1,42 (TKN)

N_{Xii} = Não biodegradável inerte no influente - $f_n X_{ii}$ ($f_n = 0,1$)

N_{ui} = Não biodegradável solúvel - $f_{nu} N_i$ ($f_{nu} = 0,02$)

N_{ai} = Biodegradável

N_{sd} = Não diretamente disponível para nitrificação (degradação lenta) - $f_{sd} N_{ai}$ ($f_{sd} = 0,8$)

N_{bi} = Diretamente disponível para nitrificação, provavelmente na forma de NH_3 . $(1 - f_{sd}) N_{ai}$.

A fração com respeito a VSS em lodo de nitrogênio é de 10%. Então para a determinação da concentração de nitrogênio para síntese podemos escrever:

$$\Delta N \times Q = 0,1 \text{ MX}_V / R_S$$

$$\Delta N \times Q = 0,1 \left(\frac{MX_a + MX_e + MX_i}{R_S} \right)$$

$$\Delta N \times Q = 0,1 \left[\frac{Y(S_i - S)Q (1 + 0,2bR_S)}{1 + bR_S} + \frac{MX_i}{R_S} \right]$$

$$\Delta N = 0,1 \left[\frac{Y(S_i - S) (1 + 0,2bR_S)}{1 + bR_S} + \frac{MX_i}{R_S Q} \right]$$

$$\Delta N = 0,1 \left[\frac{Y(S_i - S) (1 + 0,2bR_S)}{1 + bR_S} + X_{ii} \right]$$

A parte lentamente biodegradável no reator (N_s) é proveniente de diversas fontes:

1) Influyente

$$Q f_{sd} N_{aidt} \quad (f_{sd} = 0,8)$$

2) Realimentação endógena

Com a morte dos microrganismos, a quantidade de nitrogênio que retorna é:

$$bX_a f_n \cdot f_{sd} (1 - f) \cdot vdt \quad \begin{aligned} f_n &= 0,1 \\ f &= 0,2 \end{aligned}$$

3) Depressão biológica de N

A conversão do TKN lentamente biodegradável é formulada por:

$$\frac{dN_s}{dt} = - K_n N_s X_a$$

sendo $K_n \cong 0,1/\text{dia}$, expressão esta originada da equação de Monod. A depressão biológica será então:

$$V N_s K_n X_a dt$$

4) Fluxo efluente

$$N_s Q dt$$

O diagrama a seguir ilustra o fenômeno

Do diagrama acima podemos escrever o seguinte balanço:

$$V dN_s = N_{ai} f_{sd} \cdot Q \cdot dt + b X_a V \cdot f_n (1 - f) f_{sd} dt - K_n X_a N_s V dt - N_s Q dt$$

No Steady State $\frac{dN_s}{dt} = 0$. Resolvendo a equação para N_s obtemos:

$$N_s = \frac{f_{sd} [N_{ai} + R \cdot f_n (1 - f) b X_a]}{1 + K_n X_a R}$$

Finalmente obteremos o nitrogênio disponível para nitrificação, que será dado pela expressão:

$$N_i - N_{Xii} - N_{ui} - \Delta N - N_s$$

Por sua vez, da estequiometria obtemos que para a oxidação completa de 1g de N - NH_3 é necessário 4,6 g de oxigênio. Portanto, a massa de oxigênio por dia necessária para nitrificação será:

$$M_{o/d} = 4,6 Q(N_i - N_{Xii} - N_{ui} - N_s - \Delta N)$$

A massa total de oxigênio (carbonácea e nitrogenada) deve ser acrescida de 30% para atender a demanda de pico. (18)

Um exemplo prático será apresentado no Ítem 4.3.2.

A partir do oxigênio total calculado, e de uma capacidade de oxigenação conhecida, obtida de curvas características como as da Figura 4.2, determina-se o comprimento do rotor.

O procedimento normal é usar 15 cm de imersão, e selecionar a velocidade do rotor para fornecer o oxigênio necessário a ser introduzido. Esta prática assegura uma das vantagens desse tipo de rotor, pois permite a flexibilidade no fornecimento de oxigênio, servindo para instalações projetadas para o futuro. Inicialmente o rotor trabalha com uma menor imersão, permitindo que o esgoto no início não fique super aerado, trazendo em consequência, economia de energia.

A Figura 4.2 a seguir, mostra as curvas características de funcionamento do rotor gaiola de 0,70 m de diâmetro que permite o cálculo da capacidade de oxigenação e potência consumida para várias velocidades de rotação e profundidade de imersão. (Cortesia da FILSAN).

4.2.3 DECANTADOR SECUNDÁRIO, RECIRCULAÇÃO DE LODO E LEITO DE SECAGEM

Para que o valo de oxidação tenha uma operação contínua, normalmente é utilizado um decantador secundário devendo todos os sólidos formados retornarem ao processo, caracterizando assim um sistema fechado.

O esgoto bruto, bem como o lodo formado no decantador, deve ser lançado a montante do rotor, para que se consiga uma mistura imediata com o

Fig. 4.2- CAPACIDADE DE OXIGENAÇÃO EM ÁGUA POTÁVEL A 20°C, 760mm DE PRESSÃO E OXIGÊNIO DISSOLVIDO ZERO.

————— Kg O₂ / h / m
 - - - - - KW / m

líquido do valo. O efluente, por sua vez, deve ser removido num ponto mais distante para se evitar curtos circuitos.

O decantador secundário é geralmente dimensionado com uma taxa superficial de sedimentação de 20 a 25 m³/m².dia e com um tempo de detenção de 2 horas, possuindo se possível removedor de espuma, já que normalmente no processo não é incluído um decantador primário.

O bombeamento do lodo para o valo deve ser dimensionado para 100% da vazão de projeto, possuindo dispositivo de ajustamento, pois numa operação normal esta vazão é cerca de 67% da vazão média do fluxo afluente (19). É evidente que, na operação é que se define a vazão do retorno do lodo, pois esta depende da concentração de sólidos existentes no valo e da concentração de sólidos levados ao mesmo. Na África do Sul as taxas de recirculação utilizadas são bastante elevadas, sendo empregado valores até 200%.

O lodo é estabilizado aerobicamente em conjunto com a massa líquida, passando 20, 30 ou mais dias no valo, sendo este fato caracterizado pela alta concentração de sólidos em suspensão (4 a 8g/l) mantida no tanque, enquanto que no processo de lodos ativados esta concentração geralmente se situa em níveis mais baixos (1 a 3 g/l). Com isto a idade de lodo neste processo é maior, significando uma estabilidade também maior, permitindo ser secado com facilidade em leitos permeáveis sem causar problemas de odor, moscas ou roedores.

A taxa superficial de secagem dos leitos que geralmente se utiliza é de 0,05 m²/habitante. Valores como 0,035 m²/habitante (22) foram também encontrados na bibliografia consultada.

4.3 EXEMPLO DE PROJETO

4.3.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

O valo de oxidação, com operação contínua pode conter as seguintes unidades:

- Grade, caixa de retenção de areia e calha Parshall
- Estação elevatória de influente
- Valo propriamente dito (unidade central)
- Decantador secundário
- Estação elevatória de recirculação de lodo
- Tanque de contato
- Estação elevatória de efluente

Neste ítem será apresentado um exemplo aplicado a tratamento de esgotos domésticos com cálculos e detalhes de algumas unidades, admitindo os seguintes dados:

- População
 - . 1975 - 1500 hab
 - . 1985 - 3000 hab
- Contribuição per capita
 - . 54 DBO₅/dia
 - . 150 l/dia
- Vazão
 - . 450 m³/dia
- Taxa de aplicação
 - . 200 g DBO₅/m³, obtida de uma razão F/M = 0,05g DBO₅/g.SS.dia, e um MLSS a ser mantido no valo de 4.000 mg/l.

$$DBO_5 = 360 \text{ mg/l}$$

4.3.2 O VALO E O SISTEMA DE AERAÇÃO

O maior problema de estações de tratamento projetadas para mais de uma etapa, é a construção das unidades complementares, pois estas ampliações no futuro nem sempre são feitas, tornando-se a estação subdimensionada.

No valo de oxidação este problema é resolvido projetando-se as unidades para a 2ª. etapa, sendo a variação de carga orgânica compensada por parâmetros de funcionamento do rotor, como velocidade e imersão, tornando então possível a construção da estação numa só etapa. Então, o volume do valo será calculado em função da carga orgânica da segunda etapa como é mostrado a seguir:

- Carga orgânica diária
 - 1ª etapa - 1500 hab x 54 g DBO₅/hab.dia = 81000 g DBO₅
 - 2ª etapa - 3000 hab x 54 g DBO₅/hab.dia = 162000 g DBO₅
- O volume do valo será:

$$V = \frac{162000 \text{ g DBO}_5}{200 \text{ g DBO}_5/\text{m}^3} = 810 \text{ m}^3$$

O tempo de detenção na 2ª etapa será:

$R = \frac{810}{450} = 1,8 \text{ dias}$

O rotor escolhido é do tipo gaiola, com diâmetro de 70cm, cujo comprimento será analisado em função das etapas, velocidade de rotação e imersão.

Para a 1ª etapa, como a vazão é menor, maior será o tempo de detenção, havendo uma maior oxidação do lodo, resultando portanto numa maior necessidade de oxigênio. Por essa razão, as relações de quantidade de O₂/DBO₅ admitidos, foram as seguintes:

1ª etapa - 3,0 g de O₂/g de DBO₅

2ª etapa - 2,0 g de O₂/g de DBO₅

A Tabela 4.2 fornece a eficiência do rotor em kg O₂/m.h, em função de sua imersão e velocidade de rotação, sendo estes dados tirados da Figura 4.2.

Alguns valores da Tabela 4.2 foram obtidos através de uma interpolação aproximada.

Tabela 4.2 - Eficiência do Rotor em kg O₂/m.h em Função de suas Características de Funcionamento.

Imersão de (m) Vel.Rotação (rpm)				
	0,08	0,10	0,12	0,15
70	1,00	1,45	1,80	2,50
80	1,25	1,80	2,50	3,25
90	1,75	2,35	3,15	4,20
100	2,30	3,55	4,60	6,15
110	2,80	4,30	5,80	7,70

Fonte: Dados tirados do gráfico da Figura 4.2 (Cortesia da FILSAN)

O comprimento do rotor será dado pela expressão:

$$\text{Comp. do rotor (m)} = \frac{\text{carga (g/h)} \times \text{relação } O_2/DBO_5}{\text{Eficiência do rotor (g/m.h.)}}$$

ou ainda:

$$\text{Comp.do rotor (m)} = \text{carga (g/dia)} \times \left[\frac{\text{Relação } O_2/\text{DBO}_5}{\text{Eficiência do rotor (g/m.dia)}} \right]$$

Tabelando o fator entre colchetes, obtemos:

Tabela 4.3 - Fator em Função das Etapas, Velocidade de Rotação e Imersão, que Multiplicado pela Carga Diária (g) dará o Comprimento do Rotor(m).

Vel. Rotação (rpm)	Etapas	1ª	2ª
	Imersão (m)	(x 10 ⁻³)	(x 10 ⁻³)
70	0,08	0,125	0,083
	0,10	0,086	0,057
	0,12	0,070	0,046
	0,15	0,050	0,033
80	0,08	0,100	0,067
	0,10	0,070	0,046
	0,12	0,050	0,033
	0,15	0,038	0,026
90	0,08	0,072	0,048
	0,10	0,053	0,036
	0,12	0,040	0,027
	0,15	0,030	0,020
100	0,08	0,054	0,036
	0,10	0,035	0,024
	0,12	0,027	0,018
	0,15	0,020	0,014
110	0,08	0,045	0,030
	0,10	0,029	0,019
	0,12	0,022	0,014
	0,15	0,016	0,011

Com os dados da Tabela 4.3 organiza-se a Tabela 4.4

Tabela 4.4 - Comprimento do Rotor (m) em Função das Etapas, Velocidade de Rotação e Imersão.

Vel. Rotação (rpm)	Etapas	1ª	2ª
	Imersão (m)	(81.000g DBO ₅)	(162.000 g DBO ₅)
70	0,08	10,12	13,44
	0,10	6,96	9,23
	0,12	5,67	7,45
	0,15	4,05	5,34
80	0,08	8,10	10,85
	0,10	5,67	7,45
	0,12	4,05	5,34
	0,15	3,07	4,21
90	0,08	5,83	7,77
	0,10	<u>4,29</u>	5,83
	0,12	3,24	<u>4,37</u>
	0,15	2,43	3,24
100	0,08	4,37	5,83
	0,10	2,83	3,88
	0,12	2,18	2,91
	0,15	1,62	2,26
110	0,08	3,64	4,86
	0,10	2,34	3,07
	0,12	1,78	2,26
	0,15	1,29	1,78

Os valores da Tabela 4.4 dão os comprimentos dos rotores com suas respectivas velocidades de rotação e imersões capazes de fornecer o oxigênio necessário ao processo metabólico para as duas etapas.

Na determinação do comprimento do rotor deve-se levar em conta as taxas recomendadas para obtenção da velocidade desejada na mistura líquida, ta xas estas que dependem do tipo de construção do valo.

Adotando-se a taxa de 1 m de rotor para cada 180 m³ de valo, obtere mos para o comprimento do rotor:

$$\frac{810\text{m}^3}{180\text{m}^3/\text{m}} = 4.5\text{m}$$

O comprimento adotado será de 4,60m, dividido em dois rotores de 2,30m, com duas seções de 1,15m funcionando a 90 rpm, com imersão inicial de 0,10m e imersão final de 0,12m. O valor 4,60m é superior a 4,29m e 4,37m, dados da Tabela 4.4 para 90 rpm e imersão de 0,10m e 0,12m respectivamente

A largura do valo dividida pelo comprimento do rotor, segundo recomendações práticas deve estar entre 1,5 e 2,8. Fixando para esta relação o valor de 2,6, obteremos a largura de:

$$2,6 \times 2,30 \text{ m} = 5,98 \text{ m} \cong 6,0 \text{ m}$$

Adotaremos paredes laterais de inclinação 1:1 e altura de lâmina de 1,20 m, resultando como dimensões do valo:

- Área transversal útil:

$$A = \frac{(5,20 + 2,80)}{2} \times 1,20 = 4,80\text{m}^2, \text{ sendo } 5,20\text{m a largura da seção na altura de } 1,20\text{m}.$$

- Comprimento da linha média do fluxo

$$L \text{ (m)} = \frac{810\text{m}^3}{4,80\text{m}^2} = 168,7\text{m} \cong 170\text{m}$$

A distância de um rotor para outro será de 85m.

- Potência requerida para cada rotor.

Este dimensionamento é também feito em função das condições de funcionamento para 2ª etapa.

Pelo gráfico da Figura 4.2, para 90 rpm e 0,12m de imersão obtém-se, por interpolação das curvas com 0,08m e 0,15m de imersão, o valor aproximado de:

$$1,70 \times 2,30 = 3,91\text{kW}$$

Levando-se em conta a perda na transmissão (cerca de 10%), a potência final para cada aerador será:

$$P = \frac{3,91 \times 1,1}{0,745} = 5,77 \text{ HP}$$

0,745 - conversão de kW em HP

Será adotada para cada aerador a potência comercial de 7,5 HP.

As ligações entre motor e redutor de velocidade e entre redutor e aerador deverão ser feitas com luvas elásticas. Os mancais de apoio deverão possuir rolamentos auto-compensadores.

O dimensionamento dos redutores de velocidade e luvas elásticas encontra-se em catálogos de fabricantes nacionais (FALK E TRANSMOTÉCNICA).

Um outro procedimento seria dimensionar pelo processo de lodos ativados, em função da idade de lodo. Aproveitando os dados anteriores e acrescentando outros tais:

- . $R_s = 40$ dias (idade de lodo)
- . $X_v = 3.200 \text{ mg/l}$ (MLSS - 4.000 mg/l)
- . $S_i = 648 \text{ mg/l}$ (DQO biodegradável = 1,8 DBO)

A seguir apresentamos a solução:

a) S_o

$$S_i = 0,88 S_o$$

$$S_o = \frac{648}{0,88}$$

$$S_o = 736 \text{ mg/l}$$

b) S

$$S = \frac{1 + b R_s}{Y K R_s}$$

$$S = \frac{1 + 0,24 \times 40}{0,43 \times 0,07 \times 40}$$

$$S = 9 \text{ mg/l}$$

c) M Δ S

$$\Delta S = (S_i - S) = 648 - 9 = 639 \text{ mg/l}$$

$$M\Delta S = (S_i - S)Q = 639 \times 450.000$$

$$M\Delta S = 287.550 \times 10^3 \text{ mg DQO/d}$$

d) X_{ii}

$$X_{ii} = \frac{SX_{ii}}{1,42} = \frac{0,07S_0}{1,42}$$

$$X_{ii} = \frac{0,07 \times 736}{1,42}$$

$$X_{ii} = 36,3 \text{ mg/l}$$

e) MX_i

$$MX_i = X_{ii}QR_s$$

$$MX_i = 36,3 \times 450 \times 10^3 \times 40$$

$$MX_i = 635.400 \times 10^3 \text{ mg}$$

f) MX_a

$$MX_a = \frac{Y\Delta SR_s}{1 + bR_s}$$

$$MX_a = \frac{0,43 \times 287.550 \times 10^3 \times 40}{1 + 0,24 \times 40}$$

$$MX_a = 466.591 \times 10^3 \text{ mg}$$

g) MX_e

$$MX_e = 0,2bR_sMX_a$$

$$MX_e = 0,2 \times 0,24 \times 40 \times 466.591 \times 10^3 \text{ mg}$$

$$MX_e = 895.855 \times 10^3 \text{ mg}$$

h) MXv

$$MXv = MXa + MXe + MXi$$

$$MXv = (635.400 + 466.591 + 895.855) \times 10^3 \text{ mg}$$

$$MXv = 1.997.846 \times 10^3 \text{ mg}$$

i) Volume

$$V = \frac{MXv}{Xv}$$

$$V = \frac{1.997.846 \times 10^3}{3.200}$$

$$V = 625 \text{ m}^3$$

j) Tempo de detenção

$$R = \frac{625}{450}$$

$$R = 1,4 \text{ dias}$$

k) Xa

$$Xa = \frac{MXa}{V}$$

$$Xa = \frac{466.591 \times 10^3}{625.000}$$

$$Xa = 747 \text{ mg/l}$$

l) Demanda de O₂ carbonácea

$$M0/d = (1 - 1,42Y)M\Delta S + 0,8 \times 1,42 \times b \times MXa$$

$$M0/d = 0,389 \times 287.550 \times 10^3 + 0,8 \times 1,42 \times 0,24 \times 466.591 \times 10^3$$

$$M0/d = 239 \text{ Kg}$$

m) Massa de lodo a ser descartada por dia

$$\frac{MX_v}{R_s} = \frac{1.997.846 \times 10^3}{40} = 50 \text{ Kg}$$

n) Volume a ser retirado do valo para controle do Rs

Supondo que a operação de descarte seja feita duas vezes ao dia:

$$\frac{625}{40 \times 2} \approx 8 \text{ m}^3$$

o) Nitrificação

o.1) Ni (estimado)

$$N_i = 0,1 S_o / 1,42$$

$$N_i = \frac{0,1 \times 736}{1,42}$$

$$N_i = 51,8 \text{ mg/l}$$

o.2) Partes de Ni

o.2.1) Nui

$$N_{ui} = 0,02 N_i$$

$$N_{ui} = 0,02 \times 51,8$$

$$N_{ui} = 1,0 \text{ mg/l}$$

o.2.2) NXii

$$N_{Xii} = 0,1 X_{ii}$$

$$N_{Xii} = 0,1 \times 36,3$$

$$N_{Xii} = 3,6 \text{ mg/l}$$

o.2.3) Nai

$$N_{ai} = N_i - N_{ui} - N_{Xii}$$

$$N_{ai} = 51,8 - 1,0 - 3,6$$

$$N_{ai} = 47,2 \text{ mg/l}$$

o.3) ΔN (síntese)

$$\Delta N = 0,1 \left[\frac{Y(S_i - S_f)(1 + 0,2bRs)}{1 + bRs} + X_{ii} \right]$$

$$\Delta N = 0,1 \left[\frac{0,43 (639) (1 + 0,2 \times 0,24 \times 40)}{1 + 0,24 \times 40} + 36,3 \right]$$

$$\Delta N = 11,2 \text{ mg/l}$$

o.4) Ns

$$N_s = \frac{f_{sd} [N_{ai} + R_f n(1 - f)bX_a]}{1 + K_n X_a R}$$

$$N_s = 0,8 \frac{[47,2 + 1,4 \times 0,1 \times 0,8 \times 0,24 \times 747]}{1 + 0,01 \times 747 \times 1,4}$$

$$N_s = 4,7 \text{ mg/l}$$

o.5) N disponível para nitrificação

$$N_i - N_{Xii} - N_{ui} - \Delta N - N_s$$

$$51,8 - 3,6 - 1,0 - 11,2 - 4,7$$

$$31,3 \text{ mg/l}$$

o.6) Demanda de O_2 devida a nitrificação

$$M_{O/d} = 31,3 \times 4,6 \times 450.000$$

$$M_{O/d} = 65 \text{ Kg}$$

p) Demanda total de oxigênio

$$M0/d = 239 + 65$$

$$M0/d = 304 \text{ Kg}$$

q) Comentários sobre a quantidade de O_2 necessária ao processo

q.1) Considerando o pico (Marais - 30%)

$$\frac{304 \times 1,3}{162} = 2,44 \text{ KgO}_2/\text{KgDBO}, \text{ valor próximo ao sugerido de } 2,35, \text{ citado no item 4.2.3.}$$

q.2) Sem considerar a nitrificação

$$\frac{239 \times 1,3}{162} = 1,92 \text{ KgO}_2/\text{KgDBO}, \text{ valor próximo ao sugerido originalmente por Pasveer, que provavelmente não considerou o fenômeno da nitrificação, devido ocorrerem baixas temperaturas na Holanda.}$$

4.3.3

O DECANTADOR SECUNDÁRIO E O LEITO DE SECAGEM

- Vazão de contribuição

$$. 450 \text{ m}^3/\text{dia} = 37,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Área superficial

$$. \text{Taxa de aplicação} - 20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$$

$$. \text{Área} = \frac{450 \text{ m}^3/\text{dia}}{20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}} = 22,5 \text{ m}^2$$

- Volume

$$. \text{Tempo de detenção} = 2\text{h}$$

$$. \text{Volume} = 37,5 \text{ m}^3/\text{h} \times 2\text{h} = 70,0 \text{ m}^3$$

Tabela 4.5 - Dimensões de um Decantador Tipo Dortmund.

(1) Diâmetro do Tanque (m)	(2) Área do Tanque (m ²)	(3) Profundidade do fundo inclinado (60°) (m)	(4) Volume da parte não inclinada (m ³)	(5) Volume de 1/3 da parte superior do fundo inclinado (m ³)
2,00	3,14	1,29	1,73	1,04
2,50	4,91	1,72	3,44	2,14
3,00	7,07	2,16	6,01	3,78
3,50	9,62	2,59	9,62	6,13
4,00	12,56	3,02	14,44	9,34
4,50	15,90	3,45	20,67	13,34
5,00	19,63	3,88	28,46	18,48
5,50	23,75	4,31	38,00	24,85
6,00	28,26	4,74	49,46	32,29
6,50	33,17	5,17	63,02	41,27
7,00	38,47	5,60	78,86	52,10
7,50	44,16	6,03	97,15	63,84
8,00	50,24	6,47	118,06	78,10
8,50	56,72	6,90	141,80	93,99
9,00	63,59	7,33	168,51	111,18
9,50	70,85	7,76	198,38	131,60
10,00	78,50	8,19	231,58	153,87

A referência bibliográfica (19), sugere que do fundo inclinado, para volume de decantação, seja utilizado somente 1/3 da parte superior. Com base no citado acima foi elaborada a Tabela 4.5.

O decantador de diâmetro 6,00m poderá ser usado, pois a área é superior à necessária (28,26 m²), e o volume está também dentro do exigido.

Fica então:

$70,00 \text{ m}^3 - 32,29 \text{ m}^3 = 37,71 \text{ m}^3$, que é inferior ao valor encontrado na Coluna 4 (49,46 m³).

A altura útil a da parede lateral (parte cilíndrica) do decantador será:

$$a = \frac{37,71 \text{ m}^3}{28,26 \text{ m}^2} = 1,33 \text{ m}$$

Para os leitos de secagem, a taxa usualmente empregada é de 0,05m²/hab, resultando numa área total de:

$$1^{\text{a}} \text{ etapa} - 1.500 \times 0,05 = 75 \text{ m}^2$$

$$2^{\text{a}} \text{ etapa} - 3.000 \times 0,05 = 150 \text{ m}^2$$

4.3.4 DETALHES

A seguir estão apresentadas peças gráficas sendo algumas pertencentes ao projeto de reformulação do valo de oxidação de Tabapuã em Caucaia, Ce.

1. Planta de Conjunto
2. Grade, Caixa de retenção de areia e Vertedor Parshall
3. Rotor Hess
 - 3.1. Detalhe de Fabricação do Rotor tipo Hess
 - 3.2. Detalhe de Montagem do Rotor tipo Hess

DET. 1 - PLANTA DE CONJUNTO

DET. 2-GRATE, CAIXA DE RETENÇÃO DE AREIA
E VERTEDOR PARSHALL.

CORTE A-A

DETALHE DA GRADE

SECÇÃO Y-Y

CORTE B-B

CORTE C-C

CORTE D-D

CORTE E-E

CORTE F-F

CORTE G-G

DET. 3.1 - FABRICAÇÃO DO ROTOR TIPO HES

CORTE A-A

DET. 3.2 - MONTAGEM DO ROTOR TIPO NESS

PLANTA BAIXA

PLACA DE PROTEÇÃO

DETALHE 1

PLANTA

DETALHE 2

CORTE

PLANTA

CORTE

DETALHE 3

5. A EXECUÇÃO

5.1 LOCAÇÃO

Dentro da área escolhida levantada topograficamente deverá ser feita a locação das peças constituintes da estação, serviço este que também deverá acompanhar todas as fases de construção, para que se tenha uma verificação parcial das obras acabadas, no que toca as posições e cotas estabelecidas no projeto.

O valo não deve ser locado onde as águas superficiais possam invadi-lo. Um aique ao seu redor, ou outra obra de proteção deverá ser usado para evitar que tal fato ocorra.

5.2 PREPARAÇÃO DO TERRENO

Inicialmente deverá ser feito um desmatamento, compreendendo na derrubada e o desenraizamento do material existente na área, devendo este material ser deslocado para um local afastado da obra e em seguida uma raspagem, com remoção da camada superficial onde existem vegetais de pequeno porte, devendo este material ser também afastado, juntamente com o entulho do desmatamento.

No caso de terreno pantanoso deverá ser executada uma drenagem, com nível inferior ao fundo do valo.

5.3 ESCAVAÇÃO

O terreno deve ser de preferência plano para que se torne mínimo o volume de escavação, e num determinado nível que seja possível evitar uma elevatória de influente. No caso do local não ser plano, a maior dimensão do valo deve ficar paralela às curvas de níveis com o fim de reduzir o volume a escavar.

A escavação poderá ser feita manual ou mecânica dependendo do tipo e volume do material. Recomendações práticas indicam que até 300m³ (capacidade para 1.000 hab) poderá ser feita manualmente.

Para o fundo do valo, não é preciso ter o mesmo cuidado que é requerido para as lagoas de estabilização, pois o fator infiltração tem muito menor importância devido a extensão do valo ser muito menor.

5.4 REVESTIMENTO

Existe um grande número de valos de oxidação que foram construídos sem revestimento. Neste caso o talude deverá ter uma inclinação igual ao do talude natural do solo sob a água (admite-se geralmente 1,5 na horizontal para 1,0 na vertical). De qualquer forma é conveniente revestir o valo nas vizinhanças dos rotores, bem como em todos os pontos onde o fluxo muda de direção, pois nestas regiões é que geralmente a erosão ocorre.

No caso de terrenos arenosos, o revestimento deverá ser feito em todo valo, com lajotas de pedra, ladrilhos comuns ou concreto armado.

Quando o revestimento for em concreto armado, sua espessura mínima deverá ter 10cm, com juntas de expansão nos fins das porções circulares e nas linhas de junções onde serão colocadas as estruturas de suporte dos rotores. Juntas de expansão também deverão ser colocadas, a não mais de 18m do centro do valo.

No caso de seção retangular o revestimento coincidirá com o próprio material de construção que poderá ser de alvenaria ou concreto.

5.5 DISPOSITIVOS DE ENTRADA E SAÍDA

As tubulações deverão ser em ferro fundido por representarem maior resistência.

O dispositivo de entrada deverá possuir grade, caixa de retenção de areia e medidor de vazão, podendo ser este último uma calha Parshall.

Tanto o dispositivo de entrada como o de saída poderá ser feito em alvenaria ou concreto.

O dispositivo de saída deverá permitir que haja variação no nível do valo, havendo portanto a possibilidade de mudança da imersão dos rotores, sendo essa operação necessária para controle de velocidade do fluxo e do consumo de energia elétrica.

Alguns detalhes construtivos de outras unidades que podem pertencer ao tratamento, como estações elevatórias, decantador secundário, tanque de contato não serão aqui citados, por serem comuns a outros tipos de estações.

6. CUSTO6.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

O custo de construção de um valo de oxidação normalmente é menor que 30 a 40% das instalações convencionais.

O custo operacional é baixo, exigindo a presença do operador em cerca de 4 a 20 horas por semana, numa média de 2 horas por dia.

É importante lembrar que o valo de oxidação tem um consumo muito maior de energia elétrica que as estações convencionais de tratamento de esgotos. O consumo anual chega a 18kWh per cãpita na Holanda e 25 a 30kWh per cãpi ta nos Estados Unidos, sendo este ũltimo valor explicado pela existẽncia de uma maior carga DBO por pessoa. (29)

A Tabela 6.1 mostra os dados de custos de alguns valos norte americanos e holandeses.

Tabela 6.1 - Cidades com População de Projeto e Custo Per Capita de Alguns Valos Norte Americanos e Holandeses.

Cidade	População de Projeto	Custo em US\$ Per Capita
Walsenburg, Colo	6000	15.80
Glenwood, Minn	4300	16.00
Stayton, Oregon	3500	21.20
West Salem, Ohio	2000	35.33
Blosson, Tex	1000	27.00
Graford, Tex	600	44.20
Godley, Tex	500	45.00
Noordwijk, Hol.	2500	5.00 (sem pavimentação)
Nheer, Hol.	1800	25.00 (concr. reforçado)
Marmelen, Hol.	1000	10.50 (sem pavimentação)
Wierden, Hol.	1000	40.00 (concr. pavimentado)
Ijhorst	500	
Benschop, Hol.	400	13.50 (sem pavimentação)

Fonte: PESSOA, C.A. Valos de Oxidação, In: Processos Simplificados de Tratamento de Esgotos. CETESB/USP-FSP, 1973.

Este capítulo é baseado fundamentalmente, em um trabalho desenvolvido pelo Dr. Robert W. Wheeler, da Universidade de Virginia nos Estados Unidos, em 1967 (30). O trabalho citado baseou-se em dados obtidos de um questionário feito a todos os engenheiros consultores dos Estados Unidos e Canadá, que projetaram valos de oxidação na época.

Inicialmente, uma revisão na literatura pertinente feita pelo autor, em estações de tratamento para pequenas populações equivalentes abrangendo o período de 1956 a 1963, mostrou os resultados apresentados na Tabela 6.2 a seguir:

Tabela 6.2 - Custo Per Capita Esperado em Diversos Tipos de Tratamento Relacionado com a População Equivalente.

Tipo de Tratamento \ População	1000 hab. (US\$)	5000 hab. (US\$)	10000 hab. (US\$)
Lodos Ativados, Incluindo Estações Compactas	65	29	-
Lagoas de Estabilização	16	11	-
Estações Tipo Imhoff	44	31	-
Filtros Biológicos com Digestão de Lodo	75	50	-
Valos de Oxidação	15	-	7,50

Fonte: WHEELER, R.W. A Cost Survey of Oxidation Ditches in the United States and Canada, West Virginia, 1967.

Vale aqui salientar que o valor da construção de lagoas de estabilização é muito diminuído quando existe disponibilidade suficiente de área a baixo custo.

6.2 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Com os dados recebidos do questionário foi feito um ajustamento de preços, através de índices de custo para tratamento de esgotos, em função do local e época em que foram construídas as estações, bem como a determinação do

custo per cpita em funo da populao equivalente de projeto. Em seguida foi feita uma anlise estatstica, determinando-se o valor esperado, bem como o intervalo de variao com 95% de confiana para uma populao de 1.000 habitantes.

Os resultados obtidos foram os seguintes: (Tabela 6.3)

Tabela 6.3 - Custo Per Capita Esperado e Limites de Variao para Valores de Oxidao com uma Populao Equivalente de 1.000 habitantes.

Características do Tratamento	Esperado (US\$)	Variação (US\$)
Valo de Oxidação	45	29 - 68
Valo de Oxidação sem Desintegrador	44	30 - 58
Valo de Oxidação sem Leitos de Secagem e Desintegrador	43	30 - 63
Valo de Oxidação sem Decantador Secundário	-	-
Valo de Oxidação sem Leito de Secagem	42	23 - 63
Valo de Oxidação sem Desintegrador, Leitos de Secagem e Decantador Secundário	31	18 - 52
Valo de Oxidação sem Leitos de Secagem e Decantador Secundário	32	18 - 56

Fonte: WHEELER, R. W. - A Cost Survey of Oxidation Ditches in the United States and Canada, West Virginia, 1967.

6.3 RESULTADOS

1. A adio de uma grade com a eliminao do desintegrador reduz no custo inicial em cerca de US\$700 a US\$1,700, alm de diminuir a operao e manuteno do sistema;
2. A eliminao dos leitos de secagem do projeto pode reduzir o custo inicial de construo de US\$250 a US\$3,700;

3. Eliminando o decantador secundário, usando o valo como tanque de sedimentação, consegue-se diminuir o custo inicial de US\$7,500 a US\$20,000;
4. A eliminação dos três itens acima dará uma redução total inicial de US\$7,500 a US\$24,000;
5. O custo de construção por m^3 /dia de vazão para valos de oxidação, varia de US\$92.34 para população equivalente de 5.000 habitantes a US\$218.99 para população equivalente de 250 habitantes. Nas estações compactas para as mesmas populações equivalentes, estes valores são de US\$139.84 a US\$625.32 por m^3 /dia de vazão.

6.4

RECOMENDAÇÕES

1. Os valores obtidos para serem aplicados devem ser corrigidos em função do local e época a serem utilizados.
2. O trabalho em questão não apresentou uma melhor relação entre o custo e algumas características de execução, como revestimento do valo, etc., devendo-se portanto ter cuidado na aplicação dos resultados obtidos.

7. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

7.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

Uma limpeza geral diária na estação é importante, pois permite não só tornar o local de trabalho do operador mais agradável, como também é necessária para o seu bom funcionamento. Esta limpeza inclui ainda, remoção da areia, dos detritos retidos na grade, lavagem das calhas e paredes do decantador, bem como a remoção de graxa e espuma de sua superfície.

O operador deverá periodicamente enterrar a areia removida e o material retido no gradeamento.

7.2 MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO

É de fundamental importância, a manutenção do equipamento. O operador deve verificar o funcionamento de cada peça do equipamento diariamente. As obstruções de bombas, válvulas de retenção e tubulações devem ser imediatamente removidas. As peças defeituosas devem ser consertadas ou substituídas, para que tal defeito não produza reflexos negativos em outras peças do equipamento. Neste ponto é bom lembrar que cuidados especiais deverão ser dirigidos aos aeradores, pois são a parte central e mais importante do sistema, e os equipamentos que apresentam mais defeitos. A observação de ruídos, identificando problemas mecânicos nos seus estágios iniciais, poderá evitar despesas maiores com reparos ou substituições futuras.

O operador deverá seguir rigorosamente o esquema de lubrificação e as instruções de manutenção do equipamento, fornecidos pelo fabricante. Devem ser usados óleos e graxas apropriados.

Uma lubrificação deficiente poderá ocasionar um superaquecimento nos mancais de apoio, enquanto que uma super lubrificação é inadequada, pois significa desperdício de dinheiro.

Uma pintura deverá ser feita periodicamente sempre que se fizer necessário, dando-se especial atenção as partes em ferro.

7.3 PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO

7.3.1 FATORES DE CONTROLE

No valo de oxidação os fatores que controlam sua operação são: oxigênio introduzido e o retorno de lodo.

O oxigênio introduzido no processo é controlado através da profundidade de imersão dos rotores, fator este que pode ser regulado através da variação do nível do líquido no valo. Aumentando-se ou diminuindo-se a imersão, aumenta-se ou diminui-se, respectivamente, o fornecimento de oxigênio pelo rotor. Cuidados especiais, deve-se ter no aumento da imersão, para não sobrecarregar a potência dos rotores, e na diminuição, para não reduzir a velocidade do fluxo no valo, de tal forma que possa sedimentar os sólidos em suspensão nele existentes.

No fator retorno de lodo teremos que considerar dois casos: a operação descontínua e a operação contínua.

No primeiro caso, o sistema é caracterizado pela não existência de um decantador secundário como componente da estação, utilizando-se o próprio valo como câmara de sedimentação, não existindo portanto a operação recirculação do lodo. Para que a sedimentação ocorra o rotor é interrompido durante 20 a 30 minutos aproximadamente. Neste período a velocidade do fluxo diminui e os sólidos sedimentáveis vão ao fundo, deixando na parte superior uma camada transparente que é descarregada por um dispositivo apropriado, que pode ser um sifão. Neste último caso, o nível do líquido baixa até o ponto onde o sifão perde a sua escorva. O rotor começa a funcionar novamente quando já existe alguma submergência. O ciclo é reiniciado quando o nível do líquido chega ao máximo, através do esgoto afluente ao valo. Segundo a maioria dos autores, o excesso de lodo deve ser retirado para os leitos de secagem, quando se atingir a concentração de 8.000 mg/l de sólidos em suspensão no interior do valo. No entanto, os autores de um trabalho apresentado no 8º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária (27), afirmam que após 8 anos de experiência operacional verificaram que os níveis de MLSS (3.000 a 8.000 mg/l) encontrados na bibliografia especializada, são praticamente inatingíveis em unidades de operação intermitente, desde que se queira obter um certo grau de clarificação no efluente, deixando transparecer ser mais coerente a obtenção de valores até 3.000 mg/l.

O segundo caso, ou seja, a operação contínua, é muito mais simples, mas requer um dispositivo de sedimentação.

Todo o lodo ativado, contendo normalmente uma concentração de 1 a 2% de sólidos deve ser retornado o mais breve possível, para que se obtenha uma concentração de sólidos em suspensão na mistura líquida da ordem de 6.000 mg/l. Este retorno poderá ser feito através de bombas centrífugas. A taxa de retorno de lodo poderá ser verificada observando-se o decantador secundário, pois quando este retorno está sendo feito apropriadamente, o nível do man

to de lodo no início está perto do fundo do clarificador e seu crescimento é lento durante o período de 1 a 4 semanas, tempo este necessário para que a quantidade dos sólidos aumentem. Se o bombeamento não é suficiente este nível crescerá rapidamente. O nível do manto de lodo deve crescer até a geratriz inferior do tubo efluente do decantador, aproximadamente no mesmo tempo que se chegue a concentração de 8.000 mg/l de sólidos em suspensão no interior do valo.(19). Neste ponto é necessário se fazer descargas do lodo em excesso.

A frequência de remoção do excesso de lodo vai depender da qualidade do efluente que se quer obter e da carga que a estação suporta.

Pode-se operar um valo de oxidação sem praticamente se remover o excesso de lodo, havendo com isto no entanto, perda de eficiência no tratamento, pois o efluente final apresentará alguma DBO e sólidos em suspensão. Para se obter um efluente altamente clarificado é necessária a remoção do excesso de lodo quando a estação estiver em plena carga.

A taxa de retorno de lodo vai depender dos sólidos inertes do esgoto bruto e da DBO removida diariamente, fatores estes determinantes no crescimento dos sólidos em suspensão da mistura líquida. Normalmente quando os sôlidos decantáveis atingirem o valor de 550 a 650 ml/l, a concentração de sólidos em suspensão chegar a 8.000 mg/l, cu o nível de OD atingir valores inferiores a 0,5 mg/l no valo, o excesso de lodo deverá ser removido para que a qualidade do efluente não seja afetada. Este excesso será então encaminhado para os leitos de secagem, devendo a concentração de lodo ser diminuída em cerca de 35 a 50% em um único dia, para que possibilite o rápido crescimento dos sôlidos. A remoção, de apenas uma pequena parte, resultará num rápido retorno das condições anteriores, necessitando portanto que esta operação seja mais frequente. A experiência indica que com um lodo denso esta remoção poderá ser feita em intervalos de 1 a 4 semanas

Marais recomenda, que o sistema de recirculação permita uma razão de até 2:1, para que seja evitado o fenômeno da desnitrificação nos decantadores secundários com o aparecimento de lodos ascendentes (rising sludge), que se rão carregados com o efluente, prejudicando portanto a qualidade do tratamento. Com este procedimento, o lodo permanecerá menor tempo no decantador, ou seja evitando condições anóxicas (organismos aeróbios em ambientes sem oxigênio), fator este preponderante para que a desnitrificação ocorra. É verdade que, alguma parte do fenômeno (desnitrificação biológica) acontece dentro do próprio valo. No entanto, isto se faz de uma maneira descontrolada devido o aparecimento de regiões com condições anóxicas a montante dos rotores ser casual.

Outra recomendação feita pelo mesmo autor, como já foi citado anteriormente é que o descarte de lodo, resultante de uma remoção de 1/Rs de volume do tanque de mistura líquida, seja diário, para que se obtenha um controle hidráulico da idade do lodo.

7.3.2 TESTES DE CONTROLE

7.3.2.1 OBSERVAÇÕES GERAIS

A cor e o odor são dois bons fatores de auxílio, independente de instrumentação na operação da estação.

Com o esgoto doméstico normal a mistura líquida do valo deve ter cor marron escura. Se a cor mudar para marron claro e os sólidos ficarem mais fluídos, a eficiência da estação deve ter diminuído e sua correção poderá ser feita aumentando-se a concentração de sólidos em suspensão através do retorno do lodo. A cor preta significa estado séptico, que poderá ser corrigido aumentando-se o fornecimento de oxigênio através de uma maior imersão dos rotores.

O valo de oxidação quando bem operado não apresenta odor obje^tável, sendo comum o cheiro de terra. Se a^lgum mau cheiro aparecer, deve-se inicialmente tentar localizar a causa, pois poderá ser proveniente da falta de limpeza da estação, como por exemplo a não remoção de graxa e espuma que entram para o estado séptico, não significando portanto que a estação está mal operada. O mau cheiro persistindo, com características de ovos podres, acompanhado de uma cor escura da mistura líquida no valo, significa que o processo passou de aeróbio para anaeróbio.

7.3.2.2 TEMPERATURA

É importante conhecer a temperatura do esgoto afluente a estação que deve ser alguns graus superior a da água de abastecimento. Um aumento de temperatura pode ser causado pelo lançamento de esgoto industrial aquecido.

A temperatura do esgoto tem efeito sobre a decantação e a atividade biológica. A medida que a temperatura cresce, a viscosidade do líquido diminui melhorando a sedimentabilidade. A atividade biológica é função da temperatura e do tempo. A medida que a temperatura aumenta na faixa 7°C a 40°C a atividade biológica aumenta e vice-versa. (18)

7.3.2.3 SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS

O teste de sólidos sedimentáveis é muito simples e o mais importante, podendo ser feito com dois cilindros graduados que são enchidos com amostras da mistura líquida e do efluente do decantador até 1.000 ml, e deixados em repouso durante 30 minutos.

Na amostra da mistura líquida do tanque de aeração, o operador deve observar a percentagem de volume através da leitura da escala do cilindro graduado, a transparência do líquido sobrenadante acima do lodo e a densidade do lodo sedimentado; o do efluente do clarificador, a existência de lodo sedimentado e a transparência do líquido sobrenadante.

Quando o teste do valo apresentar um líquido sobrenadante turvo, mesmo que o lodo sedimentado seja denso, a estação, está sendo mal operada. Neste caso, o efluente do clarificador também deverá apresentar turbidez. Se o sobrenadante da mistura líquida for clarificado e o do decantador for turvo, o problema se encontra nesta última unidade, sendo a causa usual deste fato a existência de lodo no estado séptico no decantador.

Se a mistura líquida do tanque de aeração tiver uma cor preta e com odor de ovos podres, o teste poderá apresentar um sobrenadante turvo podendo este fato ser ocasionado devido o oxigênio fornecido ao sistema ser insuficiente ou o retorno do lodo ser demasiado. Para verificar esta última possibilidade um teste completo de laboratório deverá ser realizado.

Quando o sistema está sendo bem operado, o teste de sólidos sedimentáveis da mistura líquida apresenta um lodo de boa densidade e um sobrenadante clarificado, e o do efluente do clarificador mostra um leve traço de lodo sedimentado e uma quantidade irrisória de flocos suspensos no sobrenadante. Donde se conclui que a clarificação da amostra do efluente do decantador é um indicador excelente de uma boa operação.

7.3.2.4 ESTABILIDADE RELATIVA

O esgoto possui uma grande quantidade de matéria orgânica, havendo inicialmente uma decomposição aeróbica. Quando o oxigênio disponível se esgota a decomposição passa a ser anaeróbica, com produção de mau cheiro caracterizando o estado séptico.

O teste de estabilidade relativa é muito simples, consistindo em, após ser colhida a amostra no efluente do decantador, colocar-se uma solução

de azul de metileno, que na presença de oxigênio conserva a cor, perdendo-a po
rém quando o oxigênio dissolvido se acaba.

Este teste, portanto mede a putrescibilidade do esgoto ou seja sua
tendência a tornar-se sêptico, sendo interessante que seja feito pelo menos se
manalmente. Os resultados são expressos em relação aos dias decorridos sem per
da da cor azul, ou em percentual da estabilidade relativa. Se a cor permanecer
durante 10 dias o efluente é considerado estável.

7.3.2.5 SÓLIDOS EM SUSPENSÃO NA MISTURA LÍQUIDA (TEOR DE RESÍDUO SECO)

Correspondente aos sólidos totais contidos no tanque de aeração.
Nos valos de oxidação esse teor é geralmente superior ao de outros processos
convencionais de lodos ativados, oscilando entre 4 a 8 g/l. Para um índice de
Mohlman 70, valor considerado usual para uma boa operação, significará 280 a
560 ml de lodo por litro da mistura líquida no tanque de aeração.

7.3.2.6 OXIGÊNIO DISSOLVIDO

As instruções para realização deste teste são geralmente forneci
das pelo fabricante do aparelho, ou se encontram no Standard Methods. O valor
do oxigênio dissolvido preconizado no funcionamento do valo de oxidação é em
torno de 2 mg/l. Concentração de OD, acima de 4 mg/l, pode resultar numa nitr
ficação excessiva, aumentando a possibilidade do aparecimento de lodo flutuan
te no decantador secundário, ocasionado por uma desnitrificação nessa unidade.
Para diminuir o oxigênio dissolvido, aumenta-se o retorno de lodo ou diminui
-se a imersão dos rotores.

7.3.2.7 pH

O pH é outro teste de realização muito simples, que deverá ser fei
to no esgoto bruto afluente e no valo de oxidação. O pH do esgoto doméstico
normal é aproximadamente 7. Um pH baixo pode ser fatal para os microrganismos
existentes no processo, podendo este fato ser ocasionado, por exemplo, por uma
nitrificação excessiva. Os valores de pH devem ser anotados para que as varia
ções sejam corrigidas, antes que tragam problemas à operação da estação.

7.3.2.8 CLORO RESIDUAL

O teste de cloro residual é feito para assegurar a garantia da qualidade do efluente no que se refere ao aspecto bacteriológico. O efluente do decantador secundário é clorado, devendo-se deixar um cloro residual mínimo de 1,0 mg/l, valor este que assegura, após a passagem pelo tanque de contato, praticamente todas as bactérias sejam destruídas.

7.3.2.9 OUTROS TESTES

Os testes de Cloretos, Dureza, Alcalinidade, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Nitrogênio Amoniacal, Nitritos, Nitratos, Fosfatos, Contagem Total de Bactérias, Coliformes, poderão ser feitos no sentido de avaliar a eficiência do tratamento, auxiliando na correção das deficiências da operação. Entretanto, devido estes testes exigirem maiores cuidados na sua determinação e uma instrumentação e material reagente mais onerosos, geralmente não são feitos no laboratório de rotina da estação. Parâmetros como Índice de Lodo ou Índice de Molhman, Idade do Lodo são também importantes no controle da operação.

7.4 RELATOS DE OPERAÇÕES

Neste ítem será feito um relato resumido por estação de vários trabalhos sobre operação de valos de oxidação e de dados da operação do valo de Tabapuá, em Caucaia - Ceará.

7.4.1 BEAVERTON, OREGON (14)

7.4.1.1 CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO

O valo em questão trata os esgotos domésticos da Companhia Tektronix com 4.000 funcionários, de uma sorveteria, de um centro de compras e de um local para jogo de boliche.

O processo de tratamento recebe a maior parte de sua carga orgânica de 8:00 às 17:00 h, sendo que aos sãbados e domingos a carga torna-se bastante pequena, devido a indústria funcionar apenas 5 dias por semana.

A estação possui as seguintes unidades: uma estação elevatôria de influente, o valo propriamente dito, um decantador secundário e um tanque de

contato onde é feita a cloração. Um medidor de fluxo foi instalado entre o clarificador e o tanque de contato. O clarificador foi construído acima do terreno o que exigiu uma elevatória entre o valo e o decantador, tornando a operação desta última unidade intermitente mas permitiu que o retorno do lodo fosse feito por gravidade.

O fornecimento de oxigênio e a circulação da mistura líquida são feitos através de 2 rotores gaiolas de 70cm de diâmetro e 3,05m de comprimento cada, funcionando a 75 rpm com motor de 7,5 HP.

A estação é equipada com um pequeno laboratório capaz de realizar os testes de sólidos sedimentáveis, OD, DBO, pH e cloro residual.

7.4.1.2 PESQUISAS DE CAMPO

Os sólidos em suspensão da mistura líquida no período de agosto de 1963 a maio de 1964 variaram segundo a Tabela 7.1.

Tabela 7.1 - Sólidos em Suspensão da Mistura Líquida em Aeração de Agosto de 1963 a Maio de 1964.

Mês	Sólidos em Suspensão da Mistura Líquida (mg/l)	Obs:
Agosto	2000	-
Setembro	2500	-
Novembro	4000	-
Dezembro	4900	-
Fevereiro	7600	-
Março	6700	Foi dada uma descarga para o leito de secagem.
Maio	7700	

Fonte: GUILLAUME, F & ENG. P - Evaluation of the Oxidation Ditch as a means of Wastewater Treatment in Ontario. Ontario, Canadá, 1964.

O grau de tratamento foi estimado em função da remoção de DBO, resultando que, no período de outubro a dezembro de 1963 quando a média da DBO do esgoto bruto em 22 amostras foi de 150mg/l, o efluente apresentou 68% das amostras com DBO igual ou menor que 15mg/l, dando uma eficiência aproximada de

90%. Já no período de janeiro a maio de 1964, em 39 amostras, o esgoto bruto apresentou uma média de 137 mg/l e 71% das amostras mostraram uma DBO igual ou menor que 10 mg/l, dando uma eficiência aproximada de 92,7%.

O tempo de detenção aproximado, baseado na vazão média diária medida de 690 m³ e no volume médio do valo de 712,5 m³, correspondente a altura da lâmina líquida de 0,91 m, foi de:

$$\frac{712,5 \times 24}{690} = 25 \text{ horas}$$

Sob condições normais de operação, o nível do valo pode variar de 0,91 m a 0,99 m. Neste último nível, o volume da mistura líquida é de 760 m³, dando um volume máximo por m de rotor de:

$$\frac{760}{6,1} = 127 \text{ m}^3$$

valor este bem abaixo do limite de 200 m³/m para valos revestidos.

O oxigênio dissolvido na mistura líquida, medido a montante e a jusante do rotor leste na manhã de um dos dias visitados (26 de maio de 1964), deu como resultado os valores 0,2 e 2,2 mg/l. Às 10 horas, o rotor oeste foi desligado, sendo que 1 hora depois o OD a montante do rotor leste caiu para zero, e às 11 horas e 30 minutos, a jusante do mesmo rotor, o OD deu 0,3 mg/l.

Devido a aparente deficiência de oxigênio no sistema, foi recomendado que o rotor oeste funcionasse também continuamente. No entanto, às 16 horas e 30 minutos do mesmo dia, o máximo OD obtido no valo foi de 0,7 mg/l. Às 20 horas e 45 minutos, os valores de OD, a montante e a jusante de ambos os rotors, variaram de 2,9 a 3,3 mg/l, mostrando ser evidente que com o decréscimo da carga orgânica sobre o valo no fim de um dia de trabalho, o sistema de aeração é capaz de recuperar completamente a deficiência de oxigênio durante o dia, não afetando o processo de tratamento.

No dia 28 de maio em que só o órgão "staff" da companhia funcionou, um mínimo de 4,0 mg/l de OD foi mantido no valo, não havendo decréscimo apreciável durante o dia. Com o desligamento de um dos rotores, apenas 5 horas

depois do primeiro dia normal de funcionamento da empresa, o OD caiu para 2,2 mg/l a montante e 3,3 mg/l a jusante, indicando que apenas um rotor é capaz de manter o nível de oxigênio necessário, quando a estação está recebendo uma carga orgânica reduzida.

7.4.2 CIDADE STAYTON, OREGON (14)

7.4.2.1 CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO

Este valo foi construído para tratar os esgotos domésticos da cidade de Stayton, com população estimada em 1964 de 2.200 habitantes, tendo sido a estação projetada para uma população final de 3.500 habitantes. A vazão média diária de projeto foi estimada em 1.630 m³ e a carga orgânica diária em termos de DBO a 5 dias em 286 kg.

A estação de tratamento é constituída de um gradeamento, o valo propriamente dito, um decantador secundário e um tanque de contato onde é feita a cloração.

O esgoto bruto chega ao valo por gravidade e é lançado a montante de um dos rotores, sendo a entrada do retorno do lodo adjacente a este lançamento. A mistura líquida vai por gravidade do valo para o decantador, e o retorno do lodo bem como a descarga do seu excesso, são feitos através de bombeamento. Do decantador o efluente vai para o tanque de contato onde é clorado e em seguida conduzido através de um canal para o corpo receptor.

O laboratório, situado fisicamente onde estão os controles elétricos do sistema e o equipamento de cloração, tem condições de realizar os testes de controle de rotina como sólidos decantáveis, cloro residual, etc.

7.4.2.2 PESQUISAS DE CAMPO

O sistema foi posto em operação em 1963, sendo que em junho de 1964, aproximadamente metade das casas da municipalidade estava ligada ao sistema de esgoto público, contribuindo com uma vazão média diária de 557 m³.

Os primeiros testes de sólidos decantáveis deram como resultado 9% de sólidos sedimentáveis com um dos rotores funcionando, apresentando um sobrenadante turvo, embora o lodo tivesse uma cor ligeiramente marron. Com os dois rotores em operação, o valor obtido para este parâmetro foi de 18%, mostrando a necessidade do funcionamento de ambos, para manter os sólidos em suspensão na mistura líquida.

Do volume do valo, calculadô em 1.334 m^3 , com o comprimento total dos rotores de 6,10 m, obteve-se uma taxa de $219 \text{ m}^3/\text{m}$ de rotor, valor este superior ao limite máximo recomendado de 200 m^3 .

Medidas de OD foram feitas em um ponto a jusante do rotor norte, aproximadamente no centro do valo, variando-se a operação dos rotores. Os valores obtidos se encontram na Tabela 7.2 a seguir:

Tabela 7.2 - Valores de OD no Centro do Valo em Função do Funcionamento dos Dois Rotores.

OD (mg/l)	Operação dos Rotores
1,5	Ambos os rotores funcionando
1,0	Rotor norte funcionando, rotor sul parado
0,5	Rotor norte parado, rotor sul funcionando
0,0	Ambos os rotores parados

Fonte: GUILLAUME, F.& ENG. P. - Evaluation of the Oxidation Ditch as a Means of Wastewater Treatment in Ontario. Ontario, Canadá, 1964.

Com base nestas observações, conclui-se da necessidade de operação contínua de ambos os rotores.

Nenhuma medição direta foi feita em relação a eficiência de remoção de DBO (desde o esgoto bruto ao efluente do decantador secundário).

7.4.3 VILAREJO DE WILLIAMS LAKE, BC (14)

7.4.3.1 CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO

Trata-se de uma estação para depuração dos esgotos domésticos da metade da parte sul da cidade, em substituição a um tanque sêptico.

O valo foi projetado para uma população estimada de 2.000 habitantes com uma contribuição per capita de 34l l/dia, sendo sua operação descontínua, ou seja, o próprio valo é usado como decantador. As descargas intermitentes são aproximadamente iguais a 9% do volume do valo, correspondente aos 12,2 cm superiores da mistura líquida. Supondo que a contribuição diária seja igual ao volume do valo, o ciclo de operação deve ser repetido 11 vezes em 24 horas.

A aeração e a circulação são promovidas por um rotor de 3,05 m de

comprimento e 70 cm de diâmetro, acoplado a um motor de 10 HP.

O tanque sêptico é utilizado para armazenamento do esgoto bruto, durante o tempo de parada do rotor.

7.4.3.2 PESQUISAS DE CAMPO

Inicialmente valores de DBO_5 medidos do efluente mostraram uma melhora significativa na operação do sistema como se observa a Tabela 7.3 a seguir.

Tabela 7.3 - Valores de DBO do Efluente

Data	DBO (mg/l)	Obs:
07/11/1963	1325	Data de início da operação
27/11/1963	85	-
18/03/1964	65	-

Fonte: GUILLLAUME, F. & ENG. P. - Evaluation of the Oxidation Ditch as a Means of Wastewater Treatment in Ontario. Ontario, Canadá, 1964.

Entretanto estes dados não dão indicação da eficiência do tratamento, pois não foi possível medir a DBO do influente.

Em 9 de junho de 1964, numa inspeção feita, o valo apresentou um aspecto geral negativo no que toca a qualidade do tratamento, pois foram notados, odores característicos de deficiência de oxigênio, com borbulhamento de gás, indicando a presença de depósitos de lodo em estado sêptico. O teor de lodo deu apenas 7% de sólidos sedimentáveis, apresentando um líquido sobrenadante contendo quantidade significativa de sólidos suspensos e turbidez.

Um teste de OD foi realizado obtendo-se 1,0 mg/l a jusante do rotor de 0,0 a 0,2 mg/l a montante. Mesmo com o aumento do período de aeração de 1 hora e 20 minutos para 2 horas e redução do período de sedimentação de 50 para 30 minutos, nenhuma melhora foi observada no oxigênio dissolvido, mostrando ser insuficiente a capacidade de oxigenação para a carga orgânica recebida pelo processo. Pode-se então concluir, que o período de aeração deverá ser superior a 2 horas.

Fundamentando-se na experiência operacional de Pasveer em Netherlands (21), em que o período de aeração é de 4 1/2 h e o de sedimentação 1 1/2 h, o sistema de descarga deverá ter a capacidade de esgotar 1/4 da con

tribuição diária, significando dizer que o sistema poderá operar em até 4 ciclos diários, resultando numa maior capacidade de oxigenação do sistema.

Outro fato, digno de ser citado, é que o valo em questão não é revestido, sendo recomendada para este caso a taxa máxima de 164 m³/m de rotor. A taxa utilizada foi de 242 m³/m de rotor, resultando possivelmente numa circulação inadequada, fato este que parcialmente poderá ter sido o responsável por depósitos de lodo séptico no fundo do valo.

7.4.4 VILAREJO DE MONTROSE, B.C. (14)

7.4.4.1 CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO

A estação de tratamento foi construída para tratar os esgotos domésticos do vilarejo, em substituição aos tanques sépticos domiciliares.

A população de projeto foi estimada em 1.500 habitantes com uma contribuição per capita de 364 l/dia, sendo que na época da inspeção existiam 950 habitantes.

É interessante notar que o valo foi projetado e construído para população de 1.500 habitantes mas o seu layout foi modificado para atender as condições do momento, diminuindo-se comprimento do valo com a consequente redução de seu volume de 538 m³ para 356 m³.

A estação se compõe de um gradeamento grosseiro, um valo, um clarificador mecanizado e um tanque de contato onde é feita a cloração.

O esgoto bruto passa pelo gradeamento, entrando no valo por gravidade a montante do rotor, numa distância aproximada de 3 m deste. A aeração e a circulação da mistura líquida são promovidas por um rotor de 70 cm de diâmetro e 1,83 m de comprimento, funcionando a 75 rpm acoplado a um motor de 5 HP, cuja imersão pode ser regulada através do dispositivo de saída. O efluente do valo vai para o clarificador por gravidade e o lodo decantado é retornado através de bombeamento.

Na época, ainda não tinham sido construídos os leitos de secagem, mas existia área suficiente para estas unidades. O efluente do decantador passa pelo tanque de contato e em seguida é jogado no corpo receptor.

Um pequeno prédio, ao lado do rotor, contém os dispositivos elétricos, o clorador, e um pequeno laboratório.

7.4.4.2 PESQUISAS DE CAMPO

A estação foi posta em funcionamento, em setembro de 1963, sendo sua operação inicial intermitente, devido a pouca carga orgânica afluyente ao valo.

Aproximadamente um ano depois, o valo ainda era operado intermitentemente, pois o rotor funcionava 15 minutos e em seguida era desligado 15 minutos, sendo que o retorno de lodo era feito neste segundo período. Isto resultou em deficiência de oxigênio no processo, má qualidade da mistura líquida e depósitos de lodo séptico no fundo do valo e no clarificador, sendo essa deposição indicada pela formação de gás e alta turbidez do efluente do decantador. Já a deficiência de oxigênio foi confirmada através de uma medida de OD feita a jusante do rotor, dando como resultado 0,2 mg/l, após os 15 minutos de aeração. Devido a ocorrência desses fatos foi recomendada a operação contínua.

Como a estação não possuía um medidor de fluxo, a vazão média foi estimada na época em 188 m³/dia, para uma população de 950 habitantes, resultando numa contribuição per capita de 198 l/dia e num tempo de detenção de:

$$\frac{356 \text{ m}^3}{188 \text{ m}^3} \times 24 \text{ h} = 45,6 \text{ h}.$$

Alguns testes de teor de lodo mostraram que o rotor foi capaz de manter os sólidos em suspensão durante uma operação intermitente. A exemplo disto temos um teste feito após os 15 minutos de aeração dando 22% de sólidos sedimentáveis.

Nenhuma análise de DBO foi feita visando determinar a eficiência da estação, embora aspectos qualitativos do efluente do decantador, na operação descontínua, tenham mostrado que a remoção de DBO estava longe de ser completa.

Após a mudança do tipo de operação para contínua, foi feito um exame de OD dando a jusante do rotor 1,2 a 1,4 mg/l e a montante 0,0 a 0,5 mg/l, mostrando assim uma melhora significativa de oxigênio dissolvido na mistura líquida.

O rotor mostrou ser capaz de realizar a circulação adequada da mistura líquida no valo reduzido, pois a taxa empregada de:

$$\frac{356 \text{ m}^3}{1,80 \text{ m}} = 198 \text{ m}^3/\text{m de rotor}$$

é inferior a máxima recomendada de 200 m³/m de rotor. Entretanto, quando o valo for aumentado para a sua capacidade total de 538 m³, o rotor deverá ser aumentado de aproximadamente:

$$\frac{538 \text{ m}^3 - 356 \text{ m}^3}{200 \text{ m}^3/\text{m}} = 0,90 \text{ m}$$

7.4.5 CIDADE DE REGINA, SASKATCHEWAN (14)

7.4.5.1 CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO

Trata-se de uma estação piloto para tratamento de esgotos domēsticos, onde dois tanques de aeração de 25,0 m de comprimento, 2,90 m de largura e 3,4 m de profundidade, foram transformados em um valo de oxidação.

Um rotor foi montado em um dos tanques a 1,83 m de seu bordo, tendo 70 cm de diâmetro e 0,91 m de comprimento. O nível do líquido foi mantido numa profundidade média de 1,22 m, dando um volume para o valo de 182 m³.

Um tanque de sedimentação foi construído aproveitando um terceiro tanque de 2,84 m de comprimento, 2,79 m de largura e 2,82 m de profundidade. Nas paredes do fundo do tanque foi dada uma inclinação de 60°.

O valo é alimentado por gravidade de uma estação de tratamento principal, apōs um gradeamento e retenção da areia. A mistura líquida é bombeada para o tanque de sedimentação e o retorno de lodo é feito por gravidade. O efluente do decantador é bombeado passando por um medidor de fluxo.

7.4.5.2 PESQUISAS DE CAMPO

A estação piloto foi colocada em funcionamento em março de 1963, permanecendo em operação contínua até julho de 1964.

Devido a característica do valo, ou seja, tratar-se de uma estação piloto para pesquisas, numerosas informações foram anotadas durante o período acima citado, não sō quanto a remoção de DBO e redução de sólidos suspensos, mas também quanto a concentração no efluente de amônia livre e nitratos.

Os resultados de remoção de DBO, em função do período de detenção, estão mostrados na Tabela 7.4 a seguir.

Até o início de dezembro de 1963, concentrações significantes de nitritos, variando de 2 a 25 mg/l, foram encontradas no efluente do decantador secundário. No mesmo período, a concentração da amônia livre correspondente chegou a um valor máximo de 14 mg/l. Daí em diante uma grande redução de nitritos ocorreu, chegando a concentrações de 0 a 3 mg/l, enquanto a amônia livre aumentou para 25 mg/l. É possível que maiores concentrações de NH_3 tenham causado o aumento da DBO do efluente, devido existirem ainda organismos nitrificantes.

Tabela 7.4 - Tempo de Detenção, DBO do Efluente e Remoção de DBO em Diversos Períodos.

Tempo de Detenção (dias)	DBO do Efluente (mg)	Redução de DBO (%)	Período de Observação
2,7	15 - 30	87 - 96	Jul a Out de 1963
1,5	30 - 40	80 - 88	Nov 63 a Fev 1964
1,0	-	80 - 88	Fim de Fev 1964
1,0	10 - 15	95	1ª Quinzena de Maio de 1964

Fonte: GUILLAUME, F. & ENG. P. - Evaluation of the Oxidation Ditch as a Means of Wastewater Treatment in Ontario. Ontario, Canadá, 1964

Para manter-se a concentração de sólidos em suspensão na mistura líquida em torno de 6 g/l, foi necessário realizar descargas regulares do excesso de lodo. A taxa limite de 200 m³/m de rotor foi respeitada, não se encontrando depósitos de lodo no valo, embora a concentração de sólidos em suspensão tenha sido mantida alta.

Análises de oxigênio dissolvido mostraram que, a jusante do rotor e a 1,83 m de distância, a concentração junto a superfície é praticamente constante e igual a 1,5 mg/l, enquanto a montante, na mesma distância, a concentração encontrada foi de 0,0 mg/l.

Análises OD foram feitas numa mesma seção, imediatamente a jusante do rotor, obtendo-se os resultados da Tabela 7.5 a seguir.

Tabela 7.5 - Valores de OD numa Seção a Jusante do Rotor.

Característica do Ponto	OD (mg/l)
Junto a superfície no centro do valo	1,5
Junto as paredes	0,3
Junto ao fundo no centro do valo	0,2

Fonte: GUILLAUME, F. & ENG.P. - Evaluation of the Oxidation Ditch as a Means of Wastewater Treatment in Ontario. Ontario, Canadá, 1964.

Os resultados mostram que, numa seção transversal de 3,05 m por 1,22 m, o oxigênio dissolvido não é uniformemente distribuído quando a aeração é feita por um rotor gaiola de 0,91 m de comprimento.

7.4.6 CAMERON, WEST VIRGINIA (9)

Para esta estação foi feito um estudo de operação mais detalhado, trabalho esse aprovado pelo Controle de Poluição das Águas do Departamento do Interior dos Estados Unidos.

7.4.6.1 CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO

O valo de Cameron em West Virginia foi construído no segundo semestre de 1964, só entrando em operação contínua em setembro de 1965.

Resumidamente, o projeto foi baseado nas seguintes informações:

- . População na época: 1.652 habitantes
- . População de projeto: 2.400 habitantes
- . Vazão média diária: 909,6 m³
- . Carga orgânica (DBO₅): 197,5 kg/dia (77,2 g por habitante de projeto mais 12,2kg de uma pequena usina de pasteurização de leite).
- . Volume: 911 m³ (Taxa aplicada de 216 g DBO₅/m³)
- . Comprimento do rotor: baseado na relação 2,32 kg O₂ para cada kg de DBO₅ e na transferência de oxigênio de 4,22 kg por hora e por metro de rotor:

$$\frac{1975 \times 2,32}{24 \times 4,22} = 4,5 \text{ m}$$

Entretanto, o comprimento necessário para manter a velocidade no valo é:

$$\frac{911}{200} = 4,6 \text{ m}$$

Foram utilizados dois rotores de 2,44 m cada um, num total de 4,88 m de comprimento com 0,70 m de diâmetro, operando a 75 rpm.

- . O decantador secundário foi dimensionado com a taxa superficial de 24,45 m³/m² dia e com um tempo de detenção de 3 horas.
- . Os leitos de secagem foram projetados com a taxa de 0,093m²/população equivalente, resultando numa área:

$$(2.400 + \frac{12,2}{0,077}) \times 0,093 = 238 \text{ m}^2$$

A estação possui ainda um gradeamento com um desintegrador, uma elevatória de influente, uma caixa de retenção de areia, um tanque de contato onde é feita a cloração, cloradores, uma estação de recirculação de lodo e um pequeno laboratório.

7.4.6.2 PESQUISAS DE CAMPO

7.4.6.2.1 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO

Do trabalho consultado, foram selecionadas as análises mais significativas para a avaliação da eficiência do sistema.

Os testes apresentados na Tabela 7.6 são médias mensais de amostras fornecidas no influente, no valo e no efluente da estação no ano de 1966.

Uma das finalidades da estação é a redução das bactérias, em particular do grupo coliforme, cuja avaliação foi feita através de análises do influente, efluente e efluente clorado.

Tabela 7.6 - Resultados Médios Mensais de Diversas Análises Feitas no Valo de Oxidação de Cameron, West Virginia no ano de 1966.

Análise	Ponto de Amostragem	Mês											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Sólidos em suspensão (mg/l)	Influente	37	44	33	79	59	162	210	156	343	288	66	40
	Valo	2461	2699	3559	2731	2624	2821	2739	2801	8580	9941	3359	3174
	Efluente	15	5	9	22	30	21	25	36	12	8	5	14
Sólidos totais (mg/l)	Influente	273	275	236	392	309	700	942	809	1008	1010	453	336
	Valo	3013	2991	3814	2969	2891	3271	3338	3338	9074	10186	3613	3516
	Efluente	228	196	195	238	242	498	552	548	647	687	300	254
Ind. de lodo	Valo	57	80	80	28	53	31	18	24	26	44	78	74
Oxigênio dissolvido (mg/l)	Influente	6,0	7,9	5,5	5,4	5,5	5,0	4,8	4,6	4,0	3,5	4,5	4,0
	Valo	9,0	7,2	5,2	5,4	5,9	5,9	5,8	6,2	6,0	6,2	6,6	5,5
	Efluente	9,5	7,8	5,3	5,5	6,0	6,1	6,0	6,0	7,9	7,3	7,1	5,7
DBO (mg/l)	Influente	109	80	120	150	175	181	190	222	228	414	368	200
	Efluente	15	5	7	9	5	7	9	23	11	11	10	8
	% de remoção	86,2	93,8	94,0	94,0	97,2	96,2	95,3	89,6	95,3	97,5	97,3	96,0
Nitrogenio Amoniacal (mg/l)	Influente	3,6	4,6	3,8	4,2	6,8	6,2	2,3	27,0	39,0	41,0	10,2	6,4
	Efluente	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0	0,8	1,0	0,0	0,0
Nitritos (mg/l)	Influente	0,04	0,03	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,04	0,03	0,02
	Efluente	0,10	0,10	0,06	0,09	0,10	0,02	0,06	0,10	0,11	0,08	0,04	0,02
Nitratos (mg/l)	Influente	13,4	4,5	3,7	0,8	33,0	6,0	12,2	14,4	0,9	1,0	12,4	16,0
	Efluente	39,0	10,0	20,0	7,5	47,0	16,0	20,6	31,1	6,7	10,8	25,5	30,2
Fosfatos (mg/l)	Influente	10	36	13	5	34	19	23	6	4	20	40	15
	Efluente	15	11	4	5	4	8	9	5	3	12	20	4
Cont. total de bactérias ($n^o \times 10^3$)	Influente	250	270	100	381	180	100	235	220	61	303	250	200
	Efluente	3,5	3,4	0,6	2,1	2,2	4,6	9,7	1,7	5,6	19	9,0	8,2
	Efl. Clorado	0,5	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,2
Coliformes por ml ($n^o \times 10^3$)	Influente	109	2250	2500	3250	1125	875	1500	1460	362	530	896	1012
	Efluente	26	50	42	6	18	50	112	5	46	34	22	20
	Efl. Clorado	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0

Fonte: BURCHINAL, J.C. et al. A Detailed Study of the Oxidation Ditch as a Method of Wastewater Treatment at Cameron, West Virginia, U.S., 1967.

Dos dados da Tabela 7.6 pode-se concluir que:

- . A concentração dos sólidos em suspensão está abaixo da desejável, não devendo, portanto, ser feita ainda descarga de lodo para o leito de secagem;
- . A concentração dos nitritos e nitratos do influente para efluente foi aumentada enquanto que a dos fosfatos foi diminuída;
- . A eficiência da estação é muito boa em termos de remoção de DBO (acima de 90%), sendo a DBO do efluente aproximadamente constante, independente do influente;
- . A cloração do efluente é importante para garantir a destruição das bactérias do grupo coliforme.

7.4.6.2.2 VELOCIDADE DA MISTURA LÍQUIDA

Uma análise da velocidade de fluxo foi feita visando determinar o comportamento da mistura líquida no valo e estimar a velocidade crítica capaz de manter os sólidos em suspensão.

Foram estudadas diversas seções em um lado do valo, não sendo feito do outro por questão de simetria. Em cada seção, foi medida a velocidade na superfície, a 0,2, 0,4, 0,6 e 0,8 da profundidade útil do valo. A maioria das medidas de velocidade foi feita com ambos os rotores funcionando e com uma imersão de 15 cm, sendo que algumas delas foram feitas com um único rotor operando com imersão de 10 e 21 cm.

Uma análise feita pelo autor dos valores obtidos, resultou que:

- . A velocidade do canal não é uniforme horizontalmente nem verticalmente e depende de diversos fatores como: forma da seção, aspereza das paredes do canal, velocidade média, intensidade de turbulência, etc.

Nas partes retas do valo a velocidade máxima é encontrada entre a superfície do líquido e o primeiro 1/3 de profundidade útil;

- . A maior parte das velocidades, com ambos os rotores funcionando e a 15 cm de imersão, está entre 0,30 e 0,46 m/s, com exceção na superfície da água e abaixo de 0,8 da profundidade útil.

A velocidade crítica calculada é de 0,04 m/s, sendo a média encontrada superior a 0,30 m/s;

- . A imersão do rotor é o fator mais importante no controle da distribuição de velocidade na mistura líquida no valo, tendo-se con

cluido que esta distribuição é mais uniforme quando a imersão é de 15 cm;

No funcionamento com um só rotor, a variação de velocidade é muito grande, sendo maior ainda para as seções mais afastadas do rotor em operação.

7.4.6.2.3 OXIGÊNIO DISSOLVIDO NO VALO

Com este estudo procurou-se determinar a transferência de oxigênio feita pelo rotor à mistura líquida e a variação da taxa de respiração dos microrganismos.

Através de diversas determinações feitas em diferentes seções e profundidades em diferentes horas do dia e a várias imersões dos rotores, chegou-se ao seguinte:

- . Quando a imersão dos rotores aumenta de 12,7cm a 25,4cm, a transferência de oxigênio, através de cada rotor, aumenta de 0,39 a 0,59 mg/l. O OD diminui numa razão uniforme aproximada de 0,1mg/l para cada 30,5 m entre os dois rotores;
- . Existe uma grande variação de OD ao longo do dia, chegando ao máximo no começo da manhã e ao mínimo ao meio dia e no meio ou fim da tarde. Esta variação é devida a razão de respiração dos microrganismos que oscila entre 1,9 mg/l/hora no começo da manhã e 10,3 mg/l/hora no meio da tarde;
- . O consumo de potência aumenta de 0,33 kw a 1,29 kw quando a imersão do rotor varia de 0 a 27,9 cm, sendo a profundidade mais eficiente de 17,5 cm, onde a transferência de oxigênio é 3,20kg.O₂/kwh;
- . Para um dia normal, estimou-se o oxigênio transferido para o valo em 141,7kg O₂, sendo 133,5kg O₂ fornecido pelos rotores e 8,2kg O₂ pela reaeração superficial, e o oxigênio, necessário para a respiração dos microrganismos no processo, 134,8kg O₂/dia.

7.4.7 SOMERSET, OHIO (16)

7.4.7.1 CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO

A estação de Somerset (Figura 7.1) consiste em dois valos de oxidação, com volume de 787 m³ cada, sendo que em 1970 apenas um deles era necessá

rio para servir a comunidade. Cada valo contém dois rotores tipo gaiola com 70cm de diâmetro e 2,4m de comprimento. Existem ainda dois decantadores acoplados com um sistema de bombeamento "air lift", que serve para o retorno do lodo ou para lançar seu excesso nos leitos de secagem.

Fig. 7.1 — Diagrama esquemático da estação

7.4.7.2 PESQUISAS DE CAMPO

7.4.7.2.1 VELOCIDADE DA MISTURA LÍQUIDA

Medidas de velocidade da mistura líquida foram feitas no meio da parte reta do valo, a 20,2 m a jusante do rotor.

A Figura 7.2 mostra a distribuição de velocidade para as imersões de 10,1, 15,2 e 22,9 cm.

Fig. 7. 2-DISTRIBUI\u00c7\u00c3O DE VELOCIDADE NUMA SE\u00c7\u00c3O TRANSVERSAL DO VALO.

Os valores plotados são as razões das velocidades medidas pela velocidade média da seção, conforme indicado na Figura 7.2.

A Tabela 7.7 mostra os valores das velocidades médias em função da imersão.

Tabela 7.7 - Velocidades Médias do Fluxo na Mistura Líquida em Função da Imer
são.

Imersão (cm)	Velocidade (m/s)
10,1	0,47
15,2	0,50
22,9	0,58

Fonte: KANESHIGH - Performance of the Somerset, Ohio, Oxidation Ditch J.Wat. Pollut. Control Fed., Julho, 1970.

Os maiores valores se encontram perto da superfície, ligeiramente descentralizados para o lado de fora do valo.

7.4.7.2.2 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO

Os resultados das análises de DBO e dos sólidos em suspensão no período de junho de 1966 a maio de 1967, se encontram na Tabela 7.8 e plotados na Figura 7.3.

Tabela 7.8 - Médias Mensais da Vazão DBO e Sólidos em Suspensão no Período de Junho de 1966 a Maio de 1969.

Mês	Vazão (m³/dia)	Sólidos em Suspensão (mg/l)		DBO (mg/l)		Carga Orgânica em DBO (kg/dia/1.000 m³)
		Esgoto Bruto	Efluente Final	Esgoto Bruto	Efluente Final	
Jun 1966	197	377	13	218	7	54,4
Julho	367	275	15	196	8	91,2
Agosto	201	464	13	295	4	76,8
Setembro	238	343	14	232	3	70,4
Outubro	193	357	15	216	3	52,8
Novembro	379	275	13	220	5	105,6
Dezembro	651	243	18	180	5	148,8
Jan 1967	329	376	24	318	9	132,8
Fevereiro	500	253	25	206	14	131,2
Março	1276	165	23	131	14	211,2
Abril	473	237	11	210	5	126,4
Maio	727	217	5	155	8	142,4
Junho	250	379	25	307	10	97,6
Julho	216	412	49	341	9	92,8
Agosto	174	323	3	281	4	62,4
Setembro	182	352	51	323	10	73,6
Outubro	208	485	12	376	6	99,2
Novembro	242	292	11	263	7	80,0
Dezembro	394	301	11	208	6	104,0
Jan 1968	545	262	520	206	196	142,4
Fevereiro	564	310	22	216	10	155,2
Março	738	354	37	210	17	196,8
Abril	329	280	17	191	7	80,0
Maio	935	251	62	196	17	200,0
Junho	572	201	7	114	2	83,2
Julho	212	374	7	310	4	83,2
Agosto	307	337	9	335	6	91,2
Setembro	238	347	4	357	4	108,8
Outubro	220	308	9	331	5	92,8
Novembro	212	285	28	298	8	80,0
Dezembro	326	283	21	222	8	91,2
Jan 1969	401	246	17	218	9	110,4
Fevereiro	541	243	13	216	6	148,8
Março	333	278	30	252	27	105,6
Abril	431	199	30	180	13	99,2
Maio	284	378	22	292	6	105,6
Média 66-67	462	298	16	215	7	112,0
Média 67-68	397	333	68	258	25	115,2
Média 68-69	341	290	16	252	8	99,2
Média dos 3 anos	401	307	34	241	13	108,8

Fonte: KANESHIGH, H.M. Performance of the Somerset Ohio, Oxidation Ditch J. Wat.Pollut. Control. Fed., Julho, 1970.

Fig. 7.3 — Médias mensais da concentração de SS e DBO

A Figura 7.3 mostra que a estação realiza uma excelente remoção dos dois maiores constituintes do esgoto, os sólidos em suspensão e a DBO.

Na Tabela 7.8, última coluna, se encontra a carga orgânica medida em relação a DBO, cujos valores são, na sua quase totalidade, inferiores a carga de projeto 200g/dia/m³.

O pior mês da estação em relação a eficiência do tratamento, foi em janeiro de 1968. Neste mês, em uma das semanas, a temperatura baixou a -9°C, a vazão foi pequena, e houve formação de gelo nos decantadores, prejudicando assim a sedimentação. A perda subsequente de lodo afetou a concentração de sólidos em suspensão na mistura.

O tempo de secagem do lodo, durante os três anos de observação, variou de 5 a 20 dias, sendo que o limite inferior aconteceu no verão e o superior, no período chuvoso.

7.4.7.2.3 CONSUMO DE ENERGIA

A Tabela 7.9 mostra o consumo médio de energia por m³ de esgoto tratado e por kg de DBO removido, durante os 3 anos observados.

Tabela 7.9 - Consumo Médio de Energia

Período	Consumo de Energia	
	kwh/m ³ de Esgoto Tratado	kwh/kg de DBO Removida
1966 - 1967	0,795	3,830
1967 - 1968	0,940	4,030
1968 - 1969	1,250	5,110

Fonte: KANESHIGH H.M. Performance of the Somerset, Ohio Oxidation Ditch. J. Wat. Pollut. Control. Fed., Julho, 1970

O custo de energia elétrica variou de US\$16 a US\$25 por 1.000m³ de esgoto tratado, sendo inferior a variação de US\$27 a US\$29 por 1.000m³, variação esta relatada por Porges et al (26) de 14 estações de tratamento por aeração prolongada.

7.4.8 JARDIM LEONOR, CAMPINAS - SP (28)

7.4.8.1 CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO

Para tratamento dos núcleos habitacionais da zona periférica e dos subdistritos do município de Campinas no Estado de São Paulo, foi escolhido o valo de oxidação dentro de um plano de pesquisa composto de duas partes:

- 1) Utilização do valo como tratamento completo
- 2) Utilização do valo como tratamento secundário

Como para a 2ª parte do estudo, era necessária a utilização de uma estação com tratamento primário completo, foi escolhida a depuradora do Jardim Leonor, que além de satisfazer a essa exigência, recebia contribuição de esgotos puramente domésticos, possuindo ainda área suficiente com condições de solo e topografia adequadas para execução das obras.

O trabalho consultado apresenta apenas a primeira parte da pesquisa, ou seja, o valo recebendo o esgoto bruto após um gradeamento e desarenação.

Dados de projeto:

- . População equivalente: 1.500 hab
- . Vazão Média: 180 m³/dia
- . Carga de DBO afluente: 57,6 kg/dia
- . Volume do valo: 290,0 m³
- . Rotor: Tipo Hess, acoplado a um motor de 15 HP, com 0,70m de diâmetro e 1,85m de comprimento, operando com uma imersão de 0,16m a 70 rpm.

Na entrada do valo foi construída uma caixa distribuidora de fluxo, pois para fins experimentais, apenas uma parte da vazão afluente era tratada no valo.

A descarga de lodo deverá ser feita periodicamente através de bombeamento do próprio valo.

7.4.8.2 PESQUISAS DE CAMPO

Na Tabela 7.10 estão relacionados os valores médios de dados obtidos no período de operação de 20 de outubro a 4 de novembro de 1973.

Tabela 7.10 - Valores Médios de Determinações Feitas no Período de 20/10 a 04/11 de 1973.

Determinações	Influente	Efluente
Resíduo Total	558 mg/l	386 mg/l
Resíduo Volátil	326 mg/l	176 mg/l
Material Sedimentável	1,2 mg/l	traços
Material em Suspensão	195 mg/l	114 mg/l
Oxigênio Consumido	67 mg/l	29 mg/l
DBO	256 mg/l	50 mg/l
pH	6,7	7,5
Colibacilos/100 ml	17 x 10 ⁵	2.600

Fonte: RIZZO, O. & LIMA, L.C. Utilização de Valos de Oxidação como Tratamento de Esgotos de Pequenas Comunidades. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 79. Novembro de 1973.

A eficiência da estação no mesmo período em termos de redução DBO e de coliformes se contra na Tabela 7.11.

Tabela 7.11 - Eficiência da Estação, no Período de 20/10 a 04/11 de 1973.

Determinação	Eficiência (%)
DBO	81
Coliformes	99

Fonte: RIZZO, O. & LIMA, L.C. Utilização de Valos de Oxidação como Tratamento de Esgotos de Pequenas Comunidades. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 79. Novembro de 1973.

Embora a estação tenha característica de operação descontínua por não possuir um tanque de sedimentação final, o sistema de operação adotado foi o contínuo, por não haver preocupação do grupo pesquisador em remover os sólidos em suspensão, podendo isto ser evidenciado pelos resultados da Tabela 7.10.

A redução de coliformes foi excelente e a remoção de DBO foi considerada comparável aos processos convencionais de lodos ativados, embora o período observado tenha sido ligeiramente posterior ao início de funcionamento de uma estação de tratamento de despejos de um frigorífico nas imediações.

7.4.9 REPLAN, PAULÍNIA. SP (6)

7.4.9.1 CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO

A estação em questão pertence à Refinaria do Planalto - REPLAN da PETROBRÁS, localizando-se à margem direita do rio Atibaia, sendo projetada e inicialmente operada pela Promon Engenharia S/A.

A população de projeto foi fixada em 1.500/1.800 habitantes para a 1ª etapa e 2.100 habitantes para a 2ª etapa.

Na 1ª etapa foram previstas as seguintes unidades:

- . 1 medidor Parshall
- . 2 valos, com 315 m³ cada um e dispositivo de sedimentação interna
- . 1 aerador tipo Kessener com motor acoplado de 15 cm por valo
- . 1 tanque de contato onde é feita a cloração
- . 3 leitos de secagem de lodo

Para a 2.^a etapa, está prevista a construção de um decantador Dortmund, um sistema de bombeamento para a recirculação de lodo e leitos de filtração grosseira para polimento do efluente. Esta última unidade que, em outras palavras, é um leito de secagem com areia de maior granulometria, só é utilizada quando se deseja uma alta remoção de sólidos e da DBO.

7.4.9.2 PESQUISAS DE CAMPO

Inicialmente foram feitas medidas médias de vazão, com o intuito de avaliar os efeitos dos picos desses parâmetros sobre o dimensionamento de medidores, vertedouros, decantadores, etc. Para 1.800 habitantes, situação existente em novembro de 1973 correspondente a 1.^a etapa de projeto, os valores médios obtidos se encontram na Tabela 7.12.

Tabela 7.12 - Vazões Médias ao Longo das Horas do Dia.

Período (h)	Vazão Média (l/s)
9 - 10	2,5
10 - 11	3,0
11 - 12	3,1
12 - 13	3,4
13 - 14	3,8

Fonte: BOTELHO, M.H.C. Assistência a Operação de um Valo de Oxidação de Esgotos Domésticos. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 79. No vembro de 1973.

Para o valo, esses valores não têm grande importância, pois seu tempo de detenção é muito grande, sendo o seu dimensionamento baseado em cargas diária.

A eficiência da estação foi avaliada através de análises feitas pela CETESB, cujas amostras foram coletadas nos dias 11/04 e 16/08/73.

No momento da 1.^a coleta, os dois valos estavam funcionando, com operação iniciada a cerca de dois meses, representando, portanto, uma situação normal de trabalho.

Os resultados obtidos se encontram relacionados na Tabela 7.13.

Tabela 7.13 - Resultado de Amostras Coletadas no Dia 11/04/73

Determinação	Unidade	Amostra 1010	Amostra 1012	Amostra 1013	Amostra 1014	Amostra 1015	Eficiência na Remoção de Matéria Orgânica de Esgoto Bruto e Efluente Final
		Afluente Bruto do Valo	Líquido em Tratamento no Valo 2	Líquido em Tratamento no Valo 1	Afluente do Valo 2	Efluente Final Após a Cloração	
- pH		6,0	6,3	6,6		7,1	-
- Sólidos Totais	mg/l	311,0	407,0	245,0	518,0	374,0	-
- Sólidos Voláteis	mg/l	237,0	237,0	172,0	298,0	264,0	12%
- Sólidos Fixos	mg/l	74,0	170,0	73,0	220,0	110,0	-
- Sólidos em Suspensão	mg/l	137,0	232,0	74,0	323,0	103,0	-
- Sólidos Solúveis	mg/l	174,0	175,0	171,0	195,0	271,0	-
- DQO	mg/l	287,0	205,0	132,0	244,0	104,0	+ 64%
- DBO ₅	mg/l	168,0	28,0	23,0	49,0	11,0	+ 94%
- DBO ₂₀	mg/l	219,0	71,0	49,0	68,0	27,0	+ 87,6%
- NMP Coli/100 ml							
. Totais		5,4 x 10 ⁸				2,3 x 10 ⁶	
. Fecais		1,4 x 10 ⁷				4,6 x 10 ⁶	

Fonte: BOTELHO, M.H.C. Assistência a Operação de um Valos de Oxidação. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 79. Novembro de 1973.

A remoção de DBO e a de DQO foram consideradas excelentes, sendo a de DQO (64%) explicada pelo fato do tratamento biológico não remover matéria orgânica não biodegradável, não acusada pelo teste de DBO, mas revelada pelo teste de DQO.

Já a remoção de DBO_{20} , (87,6%) inferior a DBO_5 , (94%) é explicada pelo fato deste teste mostrar a existência de matéria orgânica de maior dificuldade de assimilação e o consumo de O_2 devido a oxidação da matéria orgânica nitrogenada.

Na 2ª etapa, onde haverá recirculação de lodo, a redução deste fator deverá ser maior, devido o aumento da idade do lodo no valo, permitindo uma oxidação biológica mais avançada.

Um fato interessante foi o aumento encontrado no teor de sólidos voláteis da amostra do esgoto bruto para o efluente, como é mostrado na Tabela 7.13. O autor do trabalho achou, como mais viável, a explicação de que algumas instalações sanitárias, ainda não ligadas a rede de esgotos, tinham como destino final fossas sépticas, e descarregavam o lodo dessas unidades periodicamente no valo.

O aumento dos sólidos fixos, deve provavelmente corresponder a mineralização da matéria orgânica ocorrida no processo.

Na 2ª coleta realizada no dia 16/08/73, somente um valo estava funcionando (o rotor do outro estava em reparo), recebendo portanto a contribuição total da refinaria, representando esta situação condições severas de trabalho da unidade. Os resultados das análises feitas se encontram na Tabela 7.14.

Tabela 7.14 - Resultados das Análises Feitas pelo CETESB, de Amostras Coletadas no dia 16/08/73.

Determinação	Unidade	Amostra 2885	Amostra 2886	Amostra 2887	Eficiência na Remoção de Matéria Orgânica: Esgoto Bruto e Efluente Final
pH		7,0	-	7,5	-
Sólidos Totais	mg/l	835,0	-	402,0	+ 52%
Sólidos Voláteis	mg/l	454,0	-	196,0	-
Sólidos Fixos	mg/l	381,0	-	206,0	-
Sólidos em Suspensão	mg/l	398,0	-	155,0	-
Sólidos Solúveis	mg/l	437,0	-	247,0	-
DQO	mg/l	540,0	235,0	274,0	+ 49%
DBO_5	mg/l	202,0	49,0	16,0	+ 92%
DBO_{20}	mg/l	232,0	91,0	24,0	+ 90%

Fonte: BOTELHO, M.H.C. Assistência a Operação de um Valo de Oxidação. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 79. Novembro de 1973.

Apesar da sobrecarga da estação, os resultados de remoção de DBO_5 , DBO_{20} e DQO foram considerados bons.

7.4.10 TABAPUÁ, CAUCAIA, CE.

7.4.10.1 CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO

A estação de tratamento de esgotos do Conjunto Residencial Tabapuá no município de Caucaia (Ceará), mantida e operada desde 1971 pela firma ENGESAN-Engenharia Sanitária e Representações Ltda., da qual o autor foi engenheiro responsável durante 6 anos, consta das seguintes unidades:

- . Grade
- . Estação Elevatória de Influyente
- . Caixa (de retenção) de Areia, associada a um Vertedor Parshall
- . Valo de Oxidação
- . Decantador Secundário
- . Estação de Recirculação de Lodo
- . Tanque de Contato
- . Estação Elevatória de Efluente
- . Leito de Secagem

Em resumo, para a unidade central, o projeto apresentou os seguintes dados:

- . Volume do valo: 900 m^3
- . Profundidade útil: 1 m
- . Inclinação das paredes: 45°
- . Dois rotores do tipo Penha de 5 m de comprimento cada, (duas seções de 2,5 m) acoplado a um motor de 10 HP, sendo um destinado a reserva e rodízio.

No entanto, por razões desconhecidas, a execução da obra não obedeceu as dimensões preconizadas para o rotor, existindo atualmente dois rotores, tipo Penha, com 2 m de comprimento cada, acoplados a motor de 7,5 HP. Tal fato será comentado posteriormente.

O valo foi projetado para atender a contribuição correspondente a 500 unidades habitacionais.

7.4.10.2 PESQUISAS DE CAMPO

7.4.10.2.1 GENERALIDADES

Com o fim de se obter dados relativos ao comportamento do valo, para se avaliar as hipóteses de projeto e examinar a eficiência do tratamento, foram realizadas alguns trabalhos de campo com os objetivos descritos mais adiante.

7.4.10.2.2 VAZÃO DE TRATAMENTO

Entendendo que qualquer dado admitido, valor obtido e conclusão chegada, não teriam muito validade se não fosse suficientemente conhecida a vazão de tratamento exatamente no mesmo período em que foi desenvolvido o trabalho, foram medidas as vazões afluentes e efluentes a estação cujos valores médios foram colocados na Tabela 7.15 e plotados no gráfico da Figura 7.4, mostrados a seguir.

Tabela 7.15 - Valores Médios da Vazão Afluente e Efluente à Estação ao Longo das Horas do Dia.

Horas do Dia	Vazão (l/s)	
	Elevatória de Influyente	Elevatória de Efluente
05:30	5,0	2,7
06:00	5,3	-
06:30	5,2	4,6
07:00	3,7	4,3
07:30	7,1	3,3
08:00	4,7	3,2
08:30	4,0	3,6
09:00	4,9	3,1
09:30	4,7	3,4
10:00	5,4	3,4
10:30	5,7	3,5
11:00	4,2	3,7
11:30	6,8	4,2
12:00	-	4,6
12:30	4,4	3,0
13:00	5,8	4,5
13:30	5,5	3,9
14:00	7,4	2,6
14:30	-	3,6
15:00	4,1	2,7
15:30	7,2	3,0
16:00	5,2	3,3
16:30	6,1	3,8
17:00	5,2	3,8
17:30	5,8	-
18:00	6,3	-
18:30	4,2	-
19:00	-	-
19:30	6,2	-
20:00	-	3,3
20:30	7,6	-

Fonte: Levantamento de campo feito no período Agosto/Setembro de 1972.

FONTE: LEVANTAMENTO DE CAMPO FEITO NO PERÍODO DE AGOSTO/SETEMBRO DE 1972.

OBS.: OS VALORES NÃO CONHECIDOS EM DETERMINADOS HORÁRIOS, FORAM OBTIDOS POR INTERPOLAÇÃO LINEAR ENTRE OS DOIS PONTOS VISINHOS.

Fig. 7.4 - VAZÃO MÉDIA MEDIDA NA ELEVATÓRIA DE INFLUENTE E EFLUENTE EM FUNÇÃO DAS HORAS DO DIA.

7.4.10.2.3 OBSERVAÇÕES RELATIVAS A OPERAÇÃO E AMOSTRAGEM

Na época em que foram feitos os trabalhos de campo, a operação de recirculação de lodo era feita de uma maneira intermitente. Para evitar o fenômeno de lodos ascendentes no decantador (sludge rising), a frequência da recirculação era acrescida. Em geral era feito uma descarga de lodo semanalmente.

Foram feitas algumas determinações com as seguintes características:

- . Para o oxigênio dissolvido funcionava apenas o rotor R-2
- . Para as demais determinações ambos os rotores funcionavam

7.4.10.2.4 TRABALHOS DE CAMPO

As amostras de DBO e OD foram coletadas e analisadas por pessoal técnico da CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará, sendo as demais, devido a sua simplicidade, efetuadas pelo próprio operador.

Os períodos de coleta foram considerados significativos. Os resultados médios de OD, DBO e estabilidade relativa se encontram na Tabela 7.16 e os valores de sólidos decantáveis na Tabela 7.17, plotados no gráfico da Figura 7.7. Os pontos 1, 2, 3 e 4 para amostras de oxigênio dissolvido e os de 2 a 140 para as de sólidos decantáveis se encontram visualizados nas Figuras 7.5 e 7.6, respectivamente.

Tabela 7.16 - Resultados Médios de Análises de Amostras Coletadas em Agosto/Setembro de 1972.

Determinação	Unidade	Esgoto Bruto	No Valo				Efluente do Decantador	Efluente Final Clorado	Eficiência	Esgoto Bruto
			Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4			Esgoto Bruto Efluente Decant.	Efluente Final Clorado
Oxigênio dissolvido	mg/l	-	2,0	0,4	0,3	0,2	0,4	1,0	-	-
DBO	mg/l	250	-	-	-	-	15	10	94%	96%
Putrescibilidade ou estabilidade relativa	%		-	-	-	-	> 90	-	-	-

Fonte: Levantamento de campo agosto/setembro de 1972.

R 1 — ROTOR Nº 1
R 2 — ROTOR Nº 2
E — ENTRADA DE ESGOTO BRUTO E DO LODO RECIRCULADO
S — SAÍDA DO ESGOTO

OBS.: FUNCIONANDO APENAS O ROTOR Nº 2

Fig. 7.5 - PONTOS DE AMOSTRAGEM PARA DETERMINAÇÃO DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO.

Tabela 7.17 - Sólidos Decantáveis em Função do Afastamento do Rotor R-2 e do Lado do Canal Onde Foi Feita a Coleta

Data	Afastamento Médio do Rotor R-2, Medido pelo Lado de Fora (m)	Sólidos Decantáveis (ml/l)	
		Lado de Fora	Lado de Dentro
18/08/72	2	100	140
	4	100	140
	6	110	150
	8	120	160
	10	130	160
	12	110	140
	14	100	100
19/08/72	16	120	160
	18	100	140
	20	100	150
	22	100	140
	24	100	140
	26	110	140
	28	110	130
	30	120	150
	32	120	150
	34	110	140
	36	110	140
	38	100	100
21/08/72	40	120	130
	42	120	140
	44	110	130
	46	120	140
	48	110	130
	50	120	150
	52	130	160
	54	110	150
	56	120	170
	58	110	160
22/08/72	60	120	170
	62	120	170
	64	110	190
	66	120	190
	68	120	200
	70	110	170
	72	110	180
	74	110	160
	76	110	140

23/02/72	78	110	140
	80	110	140
	82	110	150
	84	110	150
24/08/72	86	110	130
	88	110	130
	90	110	130
25/08/72	92	120	130
	94	120	120
	96	120	150
	98	120	150
	100	120	110
	102	110	110
	104	120	140
	106	120	150
03/09/72	108	110	120
	110	120	130
	112	120	140
	114	110	110
	116	110	110
	118	110	110
06/09/72	120	100	100
	122	100	100
	124	120	130
	126	120	130
09/09/72	128	130	130
	130	130	130
	132	130	140
	134	130	140
	136	130	140
	138	130	140
	140	120	130

Fonte: Levantamento de Campo, Agosto/Setembro de 1972.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO — VALO DE OXIDAÇÃO CONJUNTO RESIDENCIAL DO I. P. A. S. E. TABAPUÁ — CAUCAIA — CEARÁ.

- LEGENDA:**
 R1 — ROTOR Nº 1
 R2 — ROTOR Nº 2
 E — ENTRADA DO ESGOTO BRUTO E DO LODO RECIRCULADO
 S — SAÍDA DO ESGOTO

Fig 7.6 - PONTOS DE AMOSTRAGEM PARA DETERMINAÇÃO DOS SÓLIDOS DECANTÁVEIS

7.4.10.2.5 COMENTÁRIOS

Diante dos dados obtidos e face aos de concepção admitidos em projeto de:

- . Carga: 54g de DBO/dia/hab
 - . Volume do valo per capita: 300 l
 - . Tempo de detenção: 2,1 dias (calculado tomando-se como vazão média 5,0 l/s, valor este resultante do item 7.4.10.2.2)
 - . Taxa de transferência; 3 Kg O₂/h.m para 15 cm de imersão do rotor pode-se tecer as seguintes considerações
- a) Quanto ao Oxigênio Dissolvido no Valo, que efetivamente o teor de OD é mais elevado a jusante do dispositivo de aeração, reduzindo-se a medida que se afasta do mesmo, mostrando a tendência de seu valor ficar quase ou mesmo nulo a montante do rotor em funcionamento. Os valores encontrados na maioria dos pontos, abaixo do mínimo recomendado de 0,5 mg/l, mostram a necessidade do funcionamento de ambos os rotores. A forma e dimensões adotadas para o valo devem ser consideradas no projeto de modo a se procurar obter teores mais homogêneos na mistura líquida. Assim, obtidos o volume útil do valo e a largura útil do canal, baseando-se nos parâmetros conhecidos, o projetista deve adotar dimensões e formas complementares de modo a melhorar essa homogeneidade do oxigênio dissolvido, fator tão atuante nos processos aeróbicos de tratamento. Uma alternativa talvez, seria correlacionar a vazão ou a carga poluidora ao número de unidades de aeração, e ou se prever diversos rotores criteriosamente posicionados ao longo de uma única unidade de aeração.
- b) Quanto aos Sólidos Decantáveis no Valo, que a concentração do lodo biologicamente ativo não é homogênea, ocorrendo valores diferentes entre si, dependendo do afastamento do dispositivo de aeração, ou de terem sido feitas tomadas de amostras em pontos localizados na parte interna ou externa do canal, valendo ressaltar que neste último caso, como é mostrado na Figura 7.7, os valores da parte interna são na sua totalidade maiores dos que os da parte externa (o ponto 100 foi falseado no momento da coleta pela proximidade de uma operação de recirculação de lodo). Claro é que, fatores de natureza essencialmente hidráulica, têm que ser considerados, uma vez que problemas de perda de carga pode

rão acarretar reduções na velocidade de transporte do lodo em diferentes pontos. Visto que, os valores de sólidos de antáveis obtidos, mostrados na Figura 7.7, são bastante diferentes entre si, fica reforçada ainda mais a sugestão citada na letra a anterior, que as dimensões e a forma do valo têm que ser disciplinadas ou correlacionadas a volumes úteis, número de unidades de aeração ou posição e número de rotores a serem instalados. Obviamente, sabendo-se que o processo se rege no trinômio, lodo ativado existente, matéria orgânica e oxigênio dissolvido, a concentração deste último será alterada pela desuniformidade da concentração de lodo em suspensão.

- c) Quanto a Redução da DBO que os valores obtidos, comparados aos encontrados na literatura, foram considerados excelentes. Observações subsequentes, feitas no decorrer da operação no ano de 1974, permitiram a conclusão de que o dispositivo de aeração para a situação atual, caracterizada pela ocupação das 500 unidades habitacionais, é deficiente, tanto em comprimento útil como na potência do motor instalado, não fornecendo portanto o oxigênio necessário ao processo. Providências foram tomadas no sentido de sanar tal deficiência projetando-se um novo sistema de aeração, com as seguintes características: 2 rotores tipo Hess, de 0,70m de diâmetro e 3,5m (duas seções de 1,75m) de comprimento cada, funcionando a 100 rpm com 10cm de imersão, acoplado a um motor de 15CV. Para a transmissão, foi projetado um redutor de velocidade TRANSMOTÉCNICA. Os mancais de apoio possuirão rolamentos autocompensadores da marca SKF. Para as ligações entre motor-redutor, redutor-motor, e entre as duas seções do rotor serão usadas luvas elásticas.
- d) Quanto a Putrescibilidade do Efluente (ou Estabilidade Relativa), que o processo garante o lançamento do efluente final no corpo receptor, sem qualquer problema de ordem estética.

8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES FINAIS

- 8.1 O bom andamento da operação de um valo de oxidação poderá ser verificado laboratorialmente pela pesquisa de microrganismos dos tipos Vorticella, Epistilis e outros;
- 8.2 Os organismos na respiração utilizam apenas o OD existente, sendo recomendado que se forneça na mesma proporção que é consumido. Entretanto, experimentalmente, verificou-se que esta respiração é independente do nível de OD desde que essa concentração seja superior a 0,5mg/l. Na prática, recomenda-se uma concentração de pelo menos 2,0mg/l, não ultrapassando a 4,0mg/l, com o fim de se evitar uma nitrificação excessiva acompanhada de lodo flutuante no decantador secundário;
- 8.3 No valo de oxidação as unidades deverão ser dimensionadas para a 2.^a etapa de projeto, sendo a variação de carga orgânica compensada pelas características de funcionamento do rotor. Normalmente usa-se uma imersão de 15cm e seleciona-se a velocidade do rotor para fornecer o oxigênio necessário à 2.^a etapa de projeto. Para a 1.^a etapa o rotor funcionará com uma menor imersão, evitando os problemas de uma aeração excessiva, além de proporcionar economia de energia elétrica;
- 8.4 A determinação do volume do valo pode ser feita por uma série de critérios. O autor é de opinião que o processo adotado seja o sugerido pelo prof.G.V.R.Marais em que o dimensionamento é função principalmente do parâmetro idade do lodo. No entanto, é interessante que seja feita uma comparação entre os diversos critérios conhecidos;
- 8.5 Para a relação volume do valo/comprimento do rotor, taxa esta que influencia na velocidade da mistura líquida e por conseguinte na manutenção dos sólidos em suspensão, foram encontrados valores desde 50 a 200 m³/metro de rotor. É interessante portanto, que sejam feitas pesquisas no sentido de determinar uma faixa de valores mais precisa e consequentemente mais restrita em função das caracterís

ticas construtivas do valo. A faixa mais atual dessa relação para valos revestidos foi de 165 a 200 m³/m de rotor;

- 8.6 A relação empírica mais recente, entre o oxigênio a ser fornecido ao processo e a carga orgânica expressa em DBO₅ para tratamento de esgotos domésticos em valos de oxidação, situados em localidades com altitudes não superiores a 600m, é de 2,35;
- 8.7 No processo de dimensionamento baseado na idade do lodo, o oxigênio necessário deverá ser calculado levando em conta a demanda do material carbonáceo e nitrogenado. O resultado obtido deverá ser acrescido de 30%, devido aos picos diários de carga orgânica, fator este mais atuante em pequenas estações, onde se enquadram os valos de oxidação;
- 8.8 Visando a obtenção de parâmetros para aplicação em projetos, é recomendável a determinação de curvas de comportamento da taxa de transferência de oxigênio de dois tipos de rotores muito utilizados no Brasil, o HESS e o PENHA, para várias imersões e velocidades de rotação, correlacionadas com a potência e consumo de energia, determinando-se assim uma espécie de diagrama com curvas características de funcionamento, tal qual existe para os rotores SPAAN e GAIOLA. O teste relatado no item 3.1.4 mostrou como resultado principal que o rotor tipo HESS, comparado com o tipo PENHA de 8 pás, ambos funcionando com 103 rpm e 0,10m de imersão, apresentou uma eficiência de fornecimento de oxigênio, por unidade de potência e por metro de rotor, quase duas vezes maior. As taxas adotadas, onde foram feitos os testes, de 85 m³ de valo/m de rotor para o tipo HESS e de 71 m³ de valo/m de rotor para o tipo PENHA, valores estes bem abaixo do recomendado para valos revestidos, (165 a 200 m³/m de rotor) podem ter sido responsáveis pelos baixos valores de eficiência encontrados;
- 8.9 A execução da obra em todas as suas fases, desde a locação, deverá ser acompanhada por um serviço de topografia, com o intuito de verificar parcialmente todas as etapas de construção no que toca as suas posições e cotas preconizadas no projeto;

- 8.10 Na construção, a decisão de revestir ou não o valo é muito importante, devido esse fato influenciar bastante no custo da obra. De qualquer forma é conveniente revesti-lo nas vizinhanças dos rotores e em todos os pontos onde o fluxo muda de direção. Para o revestimento de concreto armado, a espessura mínima deverá ser de 10cm, devendo-se colocar juntas de expansão nas linhas de junções com a estrutura suporte dos rotores, nos fins das porções circulares e não a mais de 18m do centro do valo;
- 8.11 Um estudo de custo de construção e operação mostrou que o valo de oxidação é cerca de 30 a 40% mais barato que as instalações convencionais de tratamento de esgoto, quando aplicado para pequenas comunidades;
- 8.12 Uma limpeza geral diária na estação é muito importante para o seu bom funcionamento, além de melhorar o aspecto estético, diminuindo a repulsa psicológica de visitantes e proporcionando um local de trabalho mais agradável para o operador;
- 8.13 A manutenção deverá ser sempre que possível em caráter preventivo, evitando que peças defeituosas venham trazer reflexos negativos a outras partes do equipamento. Para isso o operador deverá seguir rigorosamente as instruções de manutenção fornecidas pelo fabricante do equipamento;
- 8.14 Na medida do possível, o laboratório de rotina da estação, para o controle da operação, deverá realizar os seguintes testes: Temperatura, Sólidos Decantáveis, Estabilidade Relativa (Putrescibilidade), Sólidos em Suspensão na Mistura Líquida (Teor de Resíduo Seco), Oxigênio Dissolvido, pH e Cloro Residual;
- 8.15 Através da Cor e do Odor - ensaios feitos independentes de instrumentação - poderá um operador experimentado corrigir uma série de problemas na operação do valo;
- 8.16 Numa operação normal a descarga de lodo para os leitos de secagem deverá ser feita quando: a concentração de sólidos em suspensão da

mistura líquida atingir 8.000 mg/l, o oxigênio dissolvido atingir níveis inferiores a 0,5mg/l ou os sólidos decantáveis atingirem 55 a 65% de volume de lodo. O excesso de lodo deverá então ser removido, devendo os sólidos decantáveis serem diminuídos aproximadamente de 35 a 50% em um único dia;

- 8.17 O lodo decantado deverá ser recirculado o mais breve possível, devendo o seu nível, no tanque de sedimentação, crescer até a altura da descarga do efluente, aproximadamente no mesmo tempo em que se chegue a concentração de 8.000 mg/l de sólidos em suspensão no valo. Experimentalmente, tem-se verificado que com um lodo denso, o período de descarga, para o leito de secagem, é de 1 a 4 semanas (19).
- 8.18 Na operação em função da idade do lodo, este parâmetro deverá ser controlado hidráulicamente, consistindo na remoção diária de 1/Rs do volume do tanque de aeração. O lodo obtido desta porção de mistura líquida deverá ser encaminhado para os leitos de secagem;
- 8.19 Na consulta bibliográfica, relativa a operação de diversas estações e de dados obtidos do valo de Tabapuã em Caucaia - Ceará, observamos que:
- a) Não existe dificuldade em manter os sólidos em suspensão no valo, desde que o valor da relação, comprimento do rotor volume do valo, esteja dentro da faixa recomendada;
 - b) A velocidade no canal não é uniformemente distribuída em seções verticais ou horizontais. Numa seção transversal, os maiores valores se encontram junto a superfície da água e ligeiramente deslocados para o lado de fora do valo (16). Talvez esse fato, sirva de justificativa para os dados encontrados dos sólidos decantáveis do valo de Tabapuã, onde os maiores valores se situam na parte interna do valo, correspondendo a uma menor velocidade da mistura líquida;
 - c) A velocidade média aumenta com a imersão dos rotores e vice-versa, sendo que os resultados encontrados mostram que a distribuição é mais uniforme quando a profundidade de imersão dos rotores é aproximadamente de 0,15m;

- d) Uma grande variação de oxigênio dissolvido ao longo de um dia foi encontrado nos valos estudados, sendo esse fato parcialmente explicado pelas mudanças na razão de respiração dos microrganismos;
- e) Visando a obtenção de valores mais homogêneos dos sólidos decantáveis e oxigênio dissolvido na mistura líquida, recomenda-se uma pesquisa no sentido de correlacionar fatores como, volume útil do valo, dimensões, número de unidades de aeração e número e posição de rotores a serem instalados. Formas complementares devem ser procuradas no sentido de obter essa melhor homogeneidade. Uma alternativa, talvez fosse correlacionar a vazão ou a carga orgânica ao número de unidades de aeração, e ou previsão de diversos rotores criteriosamente instalados, em uma única unidade de aeração;
- f) As eficiências encontradas nas estações, em termos de redução de DBO_5 , foram muito boas, mostrando geralmente percentagens acima de 90%;
- g) A remoção de DQO é menor do que a de DBO_5 , sendo esse fato explicado devido o tratamento biológico não remover matéria orgânica não biodegradável, material este revelado pelo DQO mas não acusado pela DBO_5 ;
- h) A remoção de DBO_{20} é menor do que a DBO_5 , devido o primeiro teste acusar a existência da matéria orgânica de maior dificuldade de assimilação e revelar o consumo de oxigênio devido a matéria orgânica nitrogenada;
- i) A cloração do efluente final é necessária para assegurar a destruição dos organismos patogênicos, devendo ser feita em um tanque de contato, obtendo-se no final um cloro residual de 1,0 mg/l;

8.20 É bom salientar, que a maior preocupação deste trabalho, foi a de reunir informações sobre valos de oxidação aplicados para tratamento de esgotos domésticos, apoiado principalmente numa pesquisa bibliográfica.

9. BIBLIOGRAFIA

- (1) AERATION in wastewater treatment; manual of practice nº5. J. Wat. Pollut. Contr. Fed. Washington, 41 (11): 1863 - 78, Nov. 1969.
- (2) AFINI Jr., B. - Estudos preliminares do projeto do valo de oxidação da Fundação "Parque Zoológico de São Paulo - Capital". Rev. DAE, São Paulo, 32 (86): 98 - 111, Ago. 1972.
- (3) AQUA - AEROBIC SYSTEMS INC. - Engineering manual. Ill, Rockford, 1972.
- (4) ASHCROFT, L. G & EDWARDS, M. B - Split channel Pasveer oxidation ditches. Separat da Surveejor, May. 1969
- (5) AZEVEDO NETTO, J. M & HESS, M.L. - Tratamento em lagoas. Lagoas de estabilização. Valos de oxidação. In: - Tratamento de águas residuárias. São Paulo, DAE, 1970. p. 80-6. (Separata da Rev.DAE)
- (6) BOTELHO, M.H.C. - Assistência a operação de um valo de oxidação de esgotos sanitários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 7º, Salvador, 1973 (mimeogr.)
- (7) BRANCO, S.M. - Depuração biológica das águas residuárias. In: - Hidrobiologia aplicada a engenharia sanitária. São Paulo, CETESB, 1971. V.III. p. 825-975.
- (8) BRANCO, S.M. - Princípios biológicos em valos de oxidação e lagoas aeradas. São Paulo, CETESB/Div.Treinamento e Assistência, 1971 (mimeogr.)
- (9) BURCHINAL, J.C. - A detailed study of the oxidation ditch as a method of wastewater treatment at Gameron, West Virgínia. Morgantown, Department of Civil Engineering, College of Engineering, West Virgínia University, 1967.

- (10) CAPRI, G.M & MARAIS, G.V.R - The activated sludge process treating raw unsettled domestic sewage. Cape Town, Department of Civil Engineering, University of Cape Town, 1974.
- (11) DERÍSIO, J.C et al - Teste de reoxigenação em um valo de oxidação. Rev. DAE, São Paulo, 34 (95): 26-35, Jun. 1974.
- (12) ECKENFELDER Jr., J.W.W. - Theory and practice of activated sludge process modifications. Water Sewage Works, Chicago, (Ref nº) : 340-5, Oct. 1961.
- (13) ECKENFELDER Jr., J.W.W. - Water quality engineering for practicing engineers. New York, Barnes & Noble, 1970.
- (14) GUILLAUME, F. - Evaluation of oxidation ditch as a mean of wastewater treatment in Ontário. Ontário, Water Resources Comission, 1964. (Division of Research. Publ. 6).
- (15) HESS, M.L. - Desenho de lagoas e valos de oxidação. In: - Tratamento de recuperação de despejos industriais. Rio de Janeiro, Instituto de Engenharia Sanitária, SURSAM, 1971. Seção 2 p.1-20.
- (16) KANESHIGH, H.M. - Performance of the somerset ohio, oxidation ditch. J. Wat. Pollut. Contr. Fed, Washington, 42(6): 1370-8, Jul. 1970.
- (17) MARAIS, G.V.R. - Course of activated slugde plants. São Paulo, CETESB, 1975 (anotações de aula).
- (18) OPERATION of wastewater treatment plants; manual of practice nº11. Washington, Water Pollution Control Federation, 1961.
- (19) PARKER, H.W. - Oxidation ditch sewage waste treatment process. Washington, Federal Higliway Administration, 1972. v. 6 (Water Suply and Waste Isposal Series).

- (20) PASVEER, A - New developments in the application of Kessener brushes (aeration rotors) in the activated sludge treatment of tradewaste waters. In: ISAAC, P.C.G. [ed.] - Waste Treatment: proceedings of the second symposium on the treatment of waste waters. Oxford, Pergamon Press, 1960. p. 126-55.
- (21) PASVEER, A - Developments in activated sludge treatment in the Netherlands, 1960. In: CONFERENCE ON BIOLOGICAL WASTE TREATMENT, Manhattan College, April 20-22, 1960 (Report nº 34).
- (22) PERA, A. F - Comunicação preliminar sobre um funcionamento de um valo de oxidação com perspectiva de reaproveitamento da água. Rev. DAE, São Paulo, 26 (59); 59-65, Dez. 1965.
- (23) PESSOA, C. A - Valo de oxidação. In: Curso livre por correspondência sobre processos simplificados de tratamento de esgotos. São Paulo, CETESB, Fac. de Saúde Pública da USP, 1973.
- (24) PESSOA, C. A & JORDÃO, E.P - Valo de oxidação. In: - Tratamento de esgotos domésticos. São Paulo, CETESB, 1971. p. 297-314.
- (25) PESSOA, C. A & JORDÃO, E. P - Oxidação total. In: - Tratamento de esgotos domésticos. São Paulo, CETESB, 1971. p. 231-58.
- (26) PORGES, R et al. - Sewage treatment by extended aeration. J. Wat. Pollut. Contr. Fed; Washington, 33 (12): 1260-6, Dec. 1961.
- (27) RIN, B.P & NASCIMENTO, G.P.L - Método de dimensionamento de valos de oxidação para tratamento de esgotos domésticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 89, Rio de Janeiro, 1975 (mimeogr.).
- (28) RIZZO, O. & LIMA, L.C - Utilização de valo de oxidação como tratamento de esgotos de pequenas comunidades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 79, Salvador, 1973 (mimeogr.).

- (29) WALKER, P.G - Rotor aeration of oxidation ditches. Water Sewage Works, Chicago, 109 (6): 238-41, Jun 1962.
- (30) WHEELER, R.W - A cost survey of oxidation ditches in the United States and Canada. Morgantown, West Virginia, s.c.p. 1967. (Problem submitted in partial fulfillment of the requirements for degree of master of science in civil engineering to the Faculty of the Graduate School of West Virginia University).
- (31) ZEPPER, J. - Valos de oxidação de grandes tamanhos "Carroussel". Trad. Bento Afini Junior. Rev. DAE, São Paulo, 32 (87): 25 - 34, Set. 1972.

Página

Linha

Errado

Certo

45

13a

121

10a

Separat da Surveejor
somenset ohio
Higliway

Separata da Surveyor
Somerset Ohio
Highway

122

17a

122

25a