

CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

BIBLIOTECA

AV. PROF. FREDERICO H. MORAES JÚNIOR, 348 - CEP 05459 - PINHEIROS

SÃO PAULO - BRASIL

AVALIAÇÃO DAS CÉLULAS ELETROLÍTICAS DA
INSTALAÇÃO PILOTO DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS DA CIDADE DE MARÍLIA
- RELATÓRIO FINAL -

DIRETORIA DE TECNOLOGIA E QUALIDADE AMBIENTAL
NIVALDO JOSÉ CHIOSSI

DIRETORIA DE CONTROLE
NELSON VIEIRA DE VASCONCELOS

DIRETORIA DE PESQUISA
ROQUE MONTELEONI NETO

EQUIPE DE TRABALHO:

- , ENG^o, WALDO LIMA VIDAL - DCON
- , BIÓL, DOMENICO TREMAROLI - DCON
- , ENG^o, JOSÉ VIVA CARVALHO - DCON
- , ENG^o, JACKSON ROEHRIG - DPES
- , ENG^o, RICARDO ZIMMERMANN - DTQA
- , ANAL, RICARDO SILVESTRE S.PINTO - DTQA
- , ENG^o, MIGUEL A. CALDERÓN VELEZMORO - DTQA
- , DATILOGRAFIA - SÔNIA REGINA CARVALHO DA SILVA - DTQA

Í N D I C E

	<u>PÁG.</u>
01) INTRODUÇÃO	01
02) HISTÓRICO	02
03) FUNDAMENTOS DO PROCESSO.....	05
04) DESCRIÇÃO DA UNIDADE PILOTO.....	10
05) METODOLOGIA EMPREGADA NAS AVALIAÇÕES	12
06) DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	16
07) COMPARAÇÃO DE CUSTOS COM ALGUNS PROCESSOS DE TRATAMENTO...	38
08) CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	45
09) PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS RECOMENDADOS	50
10) CONCLUSÕES	52
11) RECOMENDAÇÕES	56
12) BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	57

ANEXOS

ANEXO I - FIGURAS

ANEXO II - TABELAS

1. INTRODUÇÃO.

O RESSURGIMENTO DAS CALHAS ELETROLÍTICAS, COMO UMA ALTERNATIVA ECONÔMICA DE TRATAMENTO DE ESGOTO BRUTO, DESPERTOU O INTERESSE DE VÁRIAS PREFEITURAS E SERVIÇOS AUTONOMOS DE ÁGUA E ESGOTO.

NA EXPECTATIVA DE SOLUCIONAR, A CURTISSIMO PRAZO E A BAIXO CUSTO O TRATAMENTO DE ESGOTO NA BACIA DO CÔRREGO DO BARBOSA, O DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTOS DE MARÍLIA IMPLANTOU, EM SETEMBRO DE 86, UMA UNIDADE PILOTO PELO PROCESSO ELETROLÍTICO, CONSTATANDO DE CALHAS E DECANTADORES, COM CAPACIDADE PARA TRATAR UMA VAZÃO DE 0,75 L/s À 2,5 L/s.

O PROJETO HIDRÁULICO E ELÉTRICO FOI DESENVOLVIDO PELO DAEM, A PARTIR DE PARÂMETROS DA INSTALAÇÃO PIONEIRA, DE IRACEMÁPOLIS, DIMENSIONADA PELO ENG^o. WOLFGANG G. WIENDL.

A CETESB PRESTOU ASSISTÊNCIA À OPERAÇÃO DA UNIDADE PILOTO E, EM CONJUNTO COM O DAEM, MONITOROU E AVALIOU O SISTEMA PARA 34 DIFERENTES CONDIÇÕES HIDRÁULICAS E ELÉTRICAS, NO PERÍODO DE NOVEMBRO DE 86 A ABRIL DE 88.

O PRESENTE RELATÓRIO REUNE OS ASPECTOS MAIS SIGNIFICATIVOS DAS AVALIAÇÕES, ANALISA OS CUSTOS OPERACIONAIS ENVOLVIDOS, DESCRIBE AS LIMITAÇÕES DA ELETRÓLISE COMO UM PROCESSO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO BRUTO E, FINALMENTE, PROPÕE A REORDENAÇÃO JUDICIOSA NO EMPREGO DAS CALHAS ELETROLÍTICAS, COMO ATUALMENTE CONCEBIDAS.

2. HISTÓRICO.

A PRIMEIRA NOTÍCIA QUE SE TEM A RESPEITO DO PROCESSO ELETROLÍTICO DATA DE 1870, QUANDO C.V. KIRKHAM PROPÔS UM PROCESSO DE FILTRAÇÃO DE ESGOTOS, SUGERINDO QUE ANTES DOS FILTROS, O LÍQUIDO DEVERIA PASSAR POR UMA CÂMARA CONTENDO PLACAS DE COBRE E ZINCO, ONDE A PASSAGEM DE UMA CORRENTE CONTÍNUA AJUDARIA O ESGOTO A LIBERTAR-SE DE SUAS PROPRIEDADES NOCIVAS. QUASE VINTE ANOS DEPOIS (1889), WILLIAM WEBSTER, UTILIZANDO ELETRODOS DE FERRO E ALUMÍNIO, CHAMOU A ATENÇÃO PARA O EFEITO OXIDANTE E PRECIPITANTE DA ELETRÓLISE, E RELATOU A POSSIBILIDADE DE FORMAÇÃO DE HIPOCLORITO.

A PARTIR DE WEBSTER, COMEÇOU A SER MUITO DIVULGADO NO MEIO TÉCNICO, OUTRAS FORMAS DE UTILIZAÇÃO DE PROCESSOS ELETROQUÍMICOS NO TRATAMENTO DE ESGOTO. O FRANCÊS HERMITE, POR EXEMPLO, DESENVOLVEU UM PROCESSO DE FORMAÇÃO DE HIPOCLORITO ATRAVÉS DA ELETRÓLISE DA ÁGUA DO MAR, QUE ERA LANÇADO NA PRÓPRIA REDE COLETORA. ESSE PROCESSO, PROPOSTO POR SATURNINO DE BRITO PARA A DESINFECÇÃO DO ESGOTO DO RIO DE JANEIRO, CHEGOU A SER IMPLANTADO EM IPSWICH (INGLATERRA), SENDO ABANDONADO POUCO TEMPO DEPOIS POR NÃO APRESENTAR RESULTADOS COMPATÍVEIS COM O CUSTO. SEGUINDO OS MESMOS PRINCÍPIOS, O PROCESSO WOOLF, APLICADO EM BREWSTER (NOVA IORQUE) E DANBURY (CONN.), FOI SUBSTITUÍDO PELA FILTRAÇÃO DOIS ANOS DEPOIS DE INSTALADO, E A ESTAÇÃO DE BOMBAY (ÍNDIA), FOI ABANDONADA APÓS QUATRO MESES DE USO, POR EXISTIREM OUTROS MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE CLORO PELA METADE DO CUSTO.

DAS ESTAÇÕES IMPLANTADAS NOS ESTADOS UNIDOS, CUBA, INGLATERRA, FRANÇA E OUTROS PAÍSES RESTAVA, EM 1912, APENAS A DE SANTA MÔNICA (EUA), SUSPEITAVA-SE, NAQUELA ÉPOCA, QUE O TRATAMENTO COM A ADIÇÃO DE COAGULANTES ERA MAIS BARATO POIS OS ELETRODOS TINHAM VIDA ÚTIL CURTA.

APESAR DOS VÁRIOS EXEMPLOS DE ABANDONO, O PROCESSO CONTINUOU A SER APLICADO. UM DOS MÉTODOS MAIS USADOS (LANDRETH) PREVIA A ADIÇÃO DE CAL AO ESGOTO, ECONOMIZANDO ENERGIA E ELETRODOS. DIZIA-SE NA ÉPOCA, PORÉM, QUE APENAS A CAL ERA NECESSÁRIA PARA SE ATINGIR AQUELE GRAU DE PURIFICAÇÃO, O QUE CAUSOU GRANDE POLÊMICA. O PROBLEMA, NESSE CASO, NÃO ERA TANTO A QUALIDADE DO EFLUENTE, MAS SIM A DISPOSIÇÃO DO LODO E O CUSTO, QUE CONTINUAVAM TORNANDO PROIBITIVA A APLICAÇÃO DO PROCESSO.

EM UM ARTIGO PUBLICADO EM 1920, EVANS COMENTA AS ESTAÇÕES PARCIAL OU COMPLETAMENTE ABANDONADAS. DAS 7 ESTAÇÕES DE OKLAHOMA, SOMENTE UMA ESTAVA SENDO OPERADA, E APENAS 8 HORAS POR DIA. A ESTAÇÃO DE DUCAN, CONSTRUÍDA EM 1913, FOI ABANDONADA APÓS 5 ANOS DE USO. A ESTAÇÃO DE DEWEY FOI DESATIVADA APÓS 6 ANOS DE USO. A ESTAÇÃO DE HENRYETTA FOI ABANDONADA EM 1917, DEPOIS DE QUATRO ANOS DE SERVIÇO. EVANS, ESTUDANDO OS RESULTADOS DOS TESTES FEITOS EM DURANT, CONCLUI QUE "O PROCESSO NÃO DEVERIA SER INSTALADO EM OKLAHOMA, POIS OS MELHORES RESULTADOS SÃO MAIS FÁCIL ECONOMICA E CONTINUAMENTE OBTIDOS POR OUTROS PROCESSOS", FULLER, EM 1922, COMPARANDO O PROCESSO ELETROLÍTICO AO DE FILTRAÇÃO BIOLÓGICA, OPTOU PELO ÚLTIMO, BASEADO NO CUSTO E EFICIÊNCIA. OS ENGENHEIROS CONSULTORES METCALF E EDDY, APÓS REALIZAREM UMA AVALIAÇÃO DE 7 DIAS DO PROCESSO ELETROLÍTICO DE ALLENTOWN (PA.), RECOMENDARAM A UTILIZAÇÃO DE TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ESGOTO.

AS PRINCIPAIS RAZÕES QUE LEVARAM A ABANDONAR TODAS AS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO ELETROLÍTICO DE ESGOTO FORAM: CUSTO DE OPERAÇÃO ELEVADO, QUANDO COMPARADO COM OUTROS PROCESSOS CONVENCIONAIS; NECESSIDADE FREQUENTE DE PARADAS DO SISTEMA PARA LIMPEZA; GRANDE FORMAÇÃO DE LODO NÃO ESTABILIZADO, QUE AINDA NO CASO DA ADIÇÃO DO CAL ERA DE DIFÍCIL DESIDRATAÇÃO; FALTA DE OPERADORES HÁBEIS; BAIXA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA, PRINCIPALMENTE A DISSOLVIDA; BAIXA REPRODUTIBILIDADE DOS RESULTADOS

PARA UMA DADA CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO, PRINCIPALMENTE NO QUE SE REFERE A COLIFORMES TOTAIS E FECAIS.

PASSADOS MAIS DE QUARENTA ANOS DE ESQUECIMENTO, O PROCESSO ELETROLÍTICO FOI DESCRITO POR HIDEO KAWAI (CETESB) NO PARECER 01/71-CETESB-2,2 DE 21 DE JUNHO DE 1971, REFERINDO-SE APENAS AO TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE FÁBRICAS DE PAPEL E CELULOSE, NO JAPÃO. EM 1981, PEDRO ALÉM SOBRINHO (CETESB) APRESENTOU UM RELATÓRIO ENFOCANDO O DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE ELETROFLOTAÇÃO, SUA UTILIZAÇÃO NA SEPARAÇÃO E ADENSAMENTO DE ALGAS PRODUZIDAS EM LAGOAS DE OXIDAÇÃO ACELERADAS RECEBENDO ESGOTO DOMÉSTICO, E TAMBÉM NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO. FINALMENTE EM 1984, WOLFGANG WIENDL (CETESB), RESGATOU O MESMO PROCESSO APLICADO NO COMEÇO DO SÉCULO, COM PEQUENAS MODIFICAÇÕES, NA PARTE ELÉTRICA; ALÉM DISSO, PUBLICOU UMA SÉRIE DE ARTIGOS, APRESENTANDO O PROCESSO ELETROLÍTICO COMO UMA DAS MELHORES ALTERNATIVAS PARA TRATAR ESGOTO DOMÉSTICO.

SEGUINDO A ORIENTAÇÃO DO ENG^o, WOLFGANG, FORAM IMPLANTADAS ESTAÇÕES ELETROLÍTICAS EM IRACEMÁPOLIS, CAMPINAS, ÁGUAS DE LINDÓIA, MARÍLIA, HOSPITAL DAS CLÍNICAS (UNICAMP) E PIRASSUNUNGA, CONHECEMOS OU OPERAMOS TODAS ESSAS INSTALAÇÕES E PODEMOS AFIRMAR QUE TODOS SEGUEM OS MESMOS CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO EMPREGADOS NO COMEÇO DO SÉCULO, CONFORME DEMONSTRAM OS DADOS DA TABELA 1.

3. FUNDAMENTOS DO PROCESSO.

O PROCESSO ELETROLÍTICO OU ELETROQUÍMICO PODE ATUAR DE VÁRIAS FORMAS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS, COMO ATRAVÉS DA REDUÇÃO CATÓDICA E OXIDAÇÃO ANÓDICA DE IMPUREZAS, COAGULAÇÃO DE PARTÍCULAS COLOIDAIS, ALTERAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS CARGAS SUPERFICIAIS DAS EMULSÕES, ELETROFLOTAÇÃO DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO, ELETRODEPOSIÇÃO DE ÍONS METÁLICOS NO CATÓDO, ELETROCOAGULAÇÃO ATRAVÉS DE ÍONS METÁLICOS PROVENIENTES DA DECOMPOSIÇÃO ANÓDICA, ETC. ESTES PROCESSOS PODEM OCORRER SIMULTANEAMENTE OU NÃO. NOS PROCESSOS ATUALMENTE EMPREGADOS NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO OCORREM PREDOMINANTEMENTE A ELETROCOAGULAÇÃO E ELETROFLOTAÇÃO.

3.1. ELETROCOAGULAÇÃO.

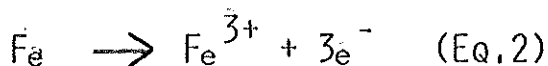
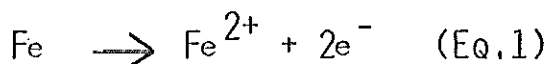
AS SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS EM ESTADO COLOIDAL (PARTÍCULAS COM DIÂMETROS ENTRE 10^{-3} E 1μ PRESENTES NO ESGOTO SANITÁRIO SÃO, PARTICULARMENTE PROTEÍNAS, ÓLEOS E GRAXAS, NA SUA MAIORIA, DOTADAS DE CARGA ELÉTRICA NEGATIVA, QUE SE REPELEM MUTUAMENTE E PERMANECEM EM DISPERSÃO NO LÍQUIDO. QUANDO A CORRENTE ELÉTRICA CIRCULA ATRAVÉS DE ELETRODOS SOLÚVEIS (AL, ZN, FE, ETC), OCORRE A DISSOLUÇÃO DO ANODO E A FORMAÇÃO DE UM FLOCO DE METAL CORRESPONDENTE, NEUTRALIZANDO AS MICELAS E ATUANDO COMO COAGULANTES EFETIVOS DE PARTE DA MATÉRIA ORGÂNICA CONTIDA NO ESGOTO.

NEM TODO O METAL DESPRENDIDO DO ANODO, PARTICIPA DO PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO. SLAGLE E ROBERTS ESTIMARAM QUE 60% DO FERRO QUE SE DESPRENDE DO ANODO NÃO É APROVEITADO, APARECENDO NA FORMA DE ESCAMAS E DEPÓSITO CATÓDICO. ALÉM DISSO, CENKIN E BELEVETSEV INVESTIGANDO O TRATAMENTO DE DESPEJOS CONTENDO Cr^{6+} , ESTIMARAM QUE NO MÁXIMO 80% DO ELETRODO ERA UTILIZADO, ATÉ QUE HOUVESSE NECESSIDADE DE REPOSIÇÃO.

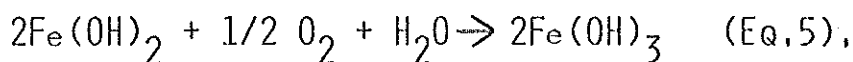
ESSES DADOS DE DISSOLUÇÃO ANÓDICA DOS ELETRODOS, SÃO FUNDAMENTAIS NA ESTIMATIVA DOS CUSTOS DO PROCESSO ELETROLÍTICO. A TAXA DE DISSOLUÇÃO DEPENDE PRINCIPALMENTE DO ESTADO DE PASSIVAÇÃO OU DE LIMPEZA DOS ELETRODOS E PH DA SOLUÇÃO.

EMPREGANDO-SE ELETRODOS DE AÇO-CARBONO TEREMOS AS SEGUINTE REAÇÕES PROVÁVEIS:

REAÇÃO ANÓDICA:



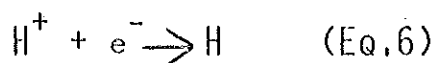
SOLUÇÃO,



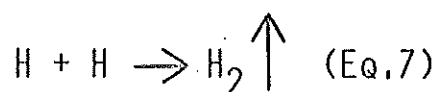
O QUE OCORRE PREFERENCIALMENTE E QUASE QUE EXCLUSIVAMENTE NO ESGOTO, SÃO AS REAÇÕES (1) E (3) ACIMA. NA PARTE SUPERIOR DA ESCUMA FLOTADA OCORRE A EQUAÇÃO (5), DEVIDO AO CONTATO COM O AR, O QUE PODE SER FACILMENTE OBSERVADO PELA MUDANÇA DA COLORAÇÃO DO LODO.

3.2. PRODUÇÃO DE GASES

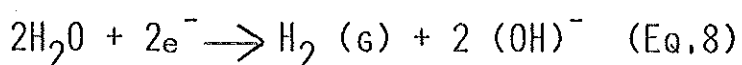
CONSIDEREMOS UMA SOLUÇÃO AQUOSA DE CLORETO DE SÓDIO. EM VIRTUDE DOS PRODUTOS DE DISSOCIAÇÃO DA ÁGUA, H^{+} E OH^{-} , AS REAÇÕES QUE OCORREM DURANTE A ELETRÓLISE NÃO SÃO SIMPLES. SE DURANTE A REAÇÃO CATÓDICA, UM ÍON H^{+} RECEBE UM ELÉTRON RESULTARÁ NA FORMAÇÃO DE UM ÁTOMO DE HIDROGÊNIO NEUTRO, H, DE ACORDO COM A REAÇÃO.



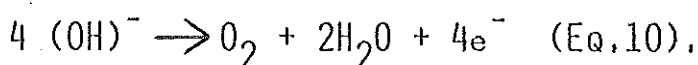
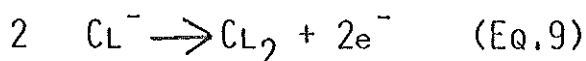
A FORMAÇÃO DO HIDROGÊNIO GASOSO OCORRE A PARTIR DO ENCONTRO DOS ÁTOMOS DE HIDROGÊNIO,



SUPONDO QUE ORIGINALMENTE O NÚMERO DE ÍONS H^+ FOSSE IGUAL AO DE ÍONS OH^- , TERÍAMOS MAIS ÍONS OH^- DO QUE H^+ , E A SOLUÇÃO NA REGIÃO DO CATÓDO TORNAR-SE-IA BÁSICA. ASSIM, O RESULTADO LÍQUIDO NO CATODO SERÁ:

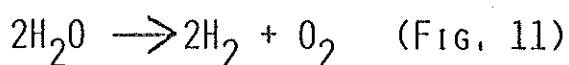


A REAÇÃO ANÓDICA É MAIS COMPLICADA PORQUE OS ÍONS DE CLORETO TÊM PROPRIEDADES SEMELHANTES AOS ÍONS HIDROXILA. PODE-SE ENTÃO ESPERAR QUE OCORRA UMA OU AMBAS DAS SEGUINTE REAÇÕES:



A REAÇÃO PREDOMINANTE É DETERMINADA PELAS CONCENTRAÇÕES RELATIVAS DOS ÍONS CLORETO E HIDROXILA. EM SOLUÇÕES CONCENTRADAS DE CLORETO DE SÓDIO (NAS QUAIS A CONCENTRAÇÃO DE ÍON HIDROXILA É 10^{-7}) O PRODUTO DA REAÇÃO ANÓDICA SERÁ EM GRANDE PARTE CLORO GASOSO, MAS EM SOLUÇÕES DILUÍDAS DE SAL (NAS QUAIS A CONCENTRAÇÃO DE ÍONS HIDROXILA AINDA É 10^{-7}), O PRODUTO SERÁ PRINCIPALMENTE OXIGÊNIO. ISSO DEVE-SE AO FATO DE QUE AS PROBABILIDADES DE REAÇÃO SÃO DETERMINADAS EM PARTE PELAS CONCENTRAÇÕES RELATIVAS.

A REAÇÃO TOTAL DE UMA SOLUÇÃO DILUÍDA DE SAL É:



AUMENTANDO-SE A CONCENTRAÇÃO DE SAIS DISSOLVIDOS, AUMENTA SE A CONDUTIVIDADE DO ESGOTO, DE MODO QUE A CORRENTE ELÉTRICA (E CONSEQUENTEMENTE A DENSIDADE DE CORRENTE) TORNA-SE MAIOR E UMA ELETRÓLISE MAIS RÁPIDA SE PROCESSE. ASSIM, A CONCENTRAÇÃO DE SAIS NO DESPEJO É FUNDAMENTAL NA DETERMINAÇÃO DA VIABILIDADE DO EMPREGO DESSE PROCESSO.

DA EQUAÇÃO 11, SABEMOS QUE O VOLUME DE HIDROGÊNIO PRODUZIDO É O DOBRO DO VOLUME DE OXIGÊNIO. SEGUNDO O ENG^o, PEDRO ALEM SOBRINHO, SABEMOS QUE "A PRODUÇÃO DE GÁS DEPENDE SOMENTE DA INTENSIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA, INDEPENDENTE DO TIPO DE LÍQUIDO, ELETRODO, ETC",

A PRODUÇÃO DE GÁS POR METRO QUADRADO DE ELETRODO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE CORRENTE, VÁLIDA PARA QUALQUER ESCALA EM QUE SE TRABALHE, SEJA LABORATÓRIO, PILOTO OU REAL, PODE SER ESTIMADA PELA EQUAÇÃO:

$$G = 16,60 I - 3,50 \quad (\text{Eq. 12})$$

ONDE,

G = PRODUÇÃO DE GÁS (CNTP) POR UNIDADE DE ÁREA DE ELETRODO L/M² DIA,

I = DENSIDADE DE CORRENTE, AMPERE/M²,

A APLICABILIDADE DESSA EQUAÇÃO LIMITA-SE À DENSIDADES DE CORRENTE DE 2 A 12 A/M² E É VÁLIDA PARA ESGOTO DOMÉSTICO,

3.3. ELETROFLOTAÇÃO,

O PROCESSO DE SEPARAÇÃO DOS LÍQUIDOS INSOLÚVEIS OU SÓLIDOS DISPERSOS NO MEIO LÍQUIDO, PELA AÇÃO DAS BOLHAS DOS GASES FORMADOS A PARTIR DA ELETRÓLISE, DENOMINA-SE ELETROFLOTAÇÃO.

ATRAVÉS DA ELETROFLOTAÇÃO, AS PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO, MATÉRIA ORGÂNICA HIDROFÓBICA E COLÓIDES SÃO ARRASTADAS À SUPERFÍCIE LÍQUIDA, DAS CÉLULAS ELETROLÍTICAS, ONDE SE ADENSAM E FORMAM A ESCUMA.

AO ANALISARMOS ESSE PROCESSO, DEVEMOS CONSIDERAR, ALÉM DOS ASPECTOS QUANTITATIVOS DE PRODUÇÃO DE GÁS, OUTROS FATORES QUALITATIVOS, TAIS COMO; TAMANHO DAS BOLHAS PRODUZIDAS E OS EFEITOS DAS BOLHAS SEPARADAMENTE.

PARA UMA DETERMINADA VAZÃO DE GÁS, QUANTO MENOR O DIÂMETRO DA BOLHA, MAIOR SERÁ O TEMPO DE PERMANÊNCIA DESSA NO LÍQUIDO, O NÚMERO DE BOLHAS PRODUZIDAS E A RELAÇÃO ÁREA SUPERFICIAL/VOLUME. BOLHAS DE DIÂMETRO GRANDE OBEDECEM A UM MOVIMENTO HELICOIDAL TURBULENTO QUE TENDE A DESAGREGAR O FLOCO E DISPERSAR A ESCUMA FLOTADA. AS BOLHAS FORMADAS POR ELETRÓLISE TEM DIÂMETROS DA ORDEM DE 30 A 100 μ E SÃO INVERSAMENTE PROPORCIONAIS À DENSIDADE DE CORRENTE.

ALGUNS AUTORES, SUGEREM QUE AS BOLHAS DE HIDROGÊNIO TÊM CARGA POSITIVA E DIÂMETROS MENORES QUE AS DE OXIGÊNIO.

DEPENDENDO DO DESPEJO, OS GASES TAMBÉM PODEM TER EFEITOS ANTAGÔNICOS, DEVENDO SER SEPARADOS.

4. DESCRIÇÃO DA UNIDADE PILOTO.

4.1. A UNIDADE PILOTO EXISTENTE CONSTA DE DOIS CANAIS, COM VOLUME ÚTIL UNITÁRIO DE $1,20\text{m}^3$, QUE FUNCIONAM EM PARALELO. A ADMISSÃO DE ESGOTO NESSAS CÉLULAS É FEITA A PARTIR DE UMA CANALETA, PRECEDIDA DE UNIDADES DE GRADEAMENTO, DOIS DESARENADORES, MEDIDOR DE VAZÃO E CÂMARA REPARTIDORA DE VAZÃO.

A VAZÃO DO PROJETO POR CALHA É DE $0,75\text{ L/s}$, COM POSSIBILIDADE DE SE ENSAIAR ATÉ $2,5\text{ L/s}$. EM CADA CÉLULA FORAM INSTALADAS 16 COLMEIAS EM SÉRIE, CONSTITUÍDAS CADA UMA DE 25 ELETRODOS DE AÇO CARBONO, COM ÁREA ÚTIL DE $0,1085\text{m}^2$, ESPESURA DE CHAPA DE $3/16''$ ($4,76\text{mm}$), E 10mm DE AFASTAMENTO ENTRE OS ELETRODOS.

PORTE DO EFLUENTE (ELETROFLOCULADO) DAS CÉLULAS ELETROLÍTICAS É ENCAMINHADO PARA DUAS CAIXAS DE CIMENTO AMIANTO DE 1000 LITROS QUE FUNCIONAM COMO DECANTADORES.

O LODO FLOTADO NAS CALHAS É REMOVIDO MANUALMENTE E DESIDRATADO EM LEITOS DE SECAGEM.

A FIG. 1 APRESENTA O ESQUEMA DA UNIDADE DE TRATAMENTO CONSTRUÍDA E OS PONTOS EMPREGADOS NA AMOSTRAGEM.

4.2. A CORRENTE CONTÍNUA NECESSÁRIA PARA O PROCESSO, É OBTIDA ATRAVÉS DA TRANSFORMAÇÃO E RETIFICAÇÃO DA CORRENTE ALTERNADA.

A TRANSFORMAÇÃO DA CORRENTE ALTERNADA, EM BAIXA TENSÃO, É FEITA ATRAVÉS DE UM TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 5 kVA DE POTÊNCIA, COM TENSÕES DE $220/110\text{V}$. A VARIAÇÃO DE TENSÃO SECUNDÁRIA É FEITA POR UM VARIADOR DE TENSÃO DE $0\text{ A }220\text{V}-30\text{A}$, LIGADO NO LADO PRIMÁRIO DO TRANSFORMADOR.

A RETIFICAÇÃO DA CORRENTE ALTERNADA EM CONTÍNUA É FEITA ATRAVÉS DE 6 (SEIS) DIODOS DE SILÍCIO, LIGADOS AO SECUNDÁ

RIO DO TRANSFORMADOR. AS MEDIÇÕES DA CORRENTE CONTÍNUA SÃO FEITAS ATRAVÉS DE VOLTÍMETRO E AMPERÍMETRO INSTALADOS NO PAINEL DO QUADRO ELÉTRICO.

A INTENSIDADE CORRENTE ADOTADA NO PROJETO FOI DE 27A, OBTIDA COM UMA FONTE DE TENSÃO DE 96V (3V POR COLMEIA X 32 COLMÉIAS EM SÉRIE).

A FONTE DE CORRENTE FOI PROJETADA DE MANEIRA A POSSIBILITAR A LIGAÇÃO DAS 32 COLMÉIAS EM SÉRIE OU DOIS CONJUNTOS DE 16, EM PARALELO. NO PRIMEIRO CASO, COM AS DUAS CALHAS EM SÉRIE, A TENSÃO NECESSÁRIA SERÁ DE 96V E $I = 26,88A$. COM AS DUAS CALHAS EM PARALELO A TENSÃO EM CADA CONJUNTO DE 16 COLMEIAS SERÁ DE 48V E $I = 26,88A$.

A FIG. 2 APRESENTA O DIAGRAMA TRIFILAR DOS COMPONENTES ELÉTRICOS DO SISTEMA DE TRATAMENTO ESTUDADO.

5. METODOLOGIA EMPREGADA NAS AVALIAÇÕES.

5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.

OS TRABALHOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO SISTEMA, FORAM DESENVOLVIDOS EM DUAS ETAPAS DISTINTAS E, EM CADA ETAPA, REALIZADAS DUAS BATERIAS DE TESTES. A PRIMEIRA ETAPA OCORREU NO PERÍODO DE 25 DE NOVEMBRO DE 1986 A 29 DE JANEIRO DE 1987, A PRIMEIRA BATERIA ENVOLVEU 12 ENSAIOS, COM TEMPO DE DURAÇÃO DE 22 HORAS, E EM CONDIÇÕES OPERACIONAIS QUE VARIARAM DE 13 A 31 MINUTOS AS DETENÇÕES HIDRÁULICAS NAS CALHAS E DE 24,0 A 37,5A AS CORRENTES ELÉTRICAS EMPREGADAS.

OS RESULTADOS OBTIDOS NESTA PRIMEIRA BATERIA, ORIENTARAM AS CONDIÇÕES OPERACIONAIS ADOTADAS NA SEGUNDA BATERIA (TESTES 13 A 24), E QUANDO FORAM ADOTADAS DETENÇÕES HIDRÁULICA DE 20 A 35 MINUTOS E INTENSIDADES DE CORRENTE ELÉTRICA DE 25 A 35A. OS TESTES DA SEGUNDA BATERIA TIVERAM DURAÇÃO DE 7 HORAS.

A SEGUNDA ETAPA DOS TRABALHOS FOI REALIZADA NO PERÍODO DE 8 DE DEZEMBRO DE 1987 A 28 DE ABRIL DE 1988 E AS CONDIÇÕES OPERACIONAIS EMPREGADAS NOS ENSAIOS, DEFINIDAS A PARTIR DOS MELHORES RESULTADOS DA ETAPA ANTERIOR. AS CONDIÇÕES DOS TESTES 25 A 29 FORAM REPETIDAS NOS TESTES 30 A 34, PRINCIPALMENTE COM O OBJETIVO DE COMPROVAR A REPRODUTIVIDADE DOS RESULTADOS. OS TESTES TIVERAM 4 HORAS DE DURAÇÃO, DETENÇÕES HIDRÁULICAS DE 30 A 40 MINUTOS E INTENSIDADES DE CORRENTE DE 25 A 30A, SENDO QUE TRÊS DESTES TESTES, TIVERAM AS SUAS PARTIDAS COM BASE NUMA TENSÃO APLICADA DE 56V.

O EMPREGO DE DECANTADORES EM SÉRIE ÀS CALHAS ELETROLÍTICAS, COM TAXAS DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL VARIANDO DE 0,42 E 1,04M/HORA, FOI TESTADO NA SEGUNDA ETAPA DE TRABALHO.

AS CONDIÇÕES ELÉTRICAS DE PARTIDA, PRÉ-ESTABELECIDAS EM CADA ENSAIO FORAM MANTIDAS DURANTE OS PRIMEIROS 30 MINUTOS DE OPERAÇÃO, ATRAVÉS DE COMANDO NO VARIVOLT. AS ALTERAÇÕES OCORRIDAS A PARTIR DESTE INSTANTE FORAM DECORRENTES DA CONDUTIVIDADE DO ELETROLÍTO E ESTADO DE LIMPEZA DOS ELETRODOS.

O CONTROLE DAS DETENÇÕES HIDRÁULICAS, FOI REALIZADO ATRAVÉS DO AJUSTE DAS LÂMINAS D'ÁGUA NOS VERTEDORES DE SAÍDA COM FREQUÊNCIA DE LEITURAS DAS VAZÕES A CADA 15 MINUTOS.

5.2. AMOSTRAGEM.

5.2.1. FRAÇÃO LÍQUIDA.

O ESGOTO BRUTO FOI AMOSTRADO NA PRIMEIRA BATERIA PELA COMPOSIÇÃO DE ALÍQUOTAS COLETADAS DE HORA EM HORA, FORMANDO 3 AMOSTRAS COMPOSTAS DURANTE O PERÍODO DO TESTE. NAS DEMAIS BATERIAS, A AMOSTRAGEM FOI REALIZADA COM O EMPREGO DE AMOSTRADOR AUTOMÁTICO, PROGRAMADO PARA A COLETA DE ALÍQUOTAS NA FREQUÊNCIA DE 3,75 MINUTOS, FORMANDO UMA ÚNICA AMOSTRA COMPOSTA, AO TÉRMINO DE CADA TESTE.

OS EFLUENTES TRATADOS, TANTO DAS CALHAS COMO DOS DECANTADORES, FORAM COLETADOS ATRAVÉS DE AMOSTRADORES CONTÍNUOS, MANTENDO-SE PARA CADA UNIDADE A RESPECTIVA DEFASAGEM DO TEMPO DE DETENÇÃO.

AS DESCARGAS DE FUNDO DAS CALHAS FORAM CARACTERIZADAS APÓS O ENCERRAMENTO DOS TESTES 13 A 24 E DO 30 AO 34, ATRAVÉS DE UMA AMOSTRA COMPOSTA OBTIDA DURANTE O PERÍODO DE DESCARGA.

OS PARÂMETROS ANALISADOS NAS AMOSTRAS DA FRAÇÃO LÍQUIDA FORAM: DBO, DQO, NITROGÊNIO ORGÂNICO, NITROGÊNIO AMONÍACAL, NITROGÊNIO K, TOTAL, ORTOFOSFATO, FOSFATO TOTAL, FERRO TOTAL E A SÉRIE DE RESÍDUOS. OS COLIFORMES TOTAIS E FECAIS FORAM ANALISADOS NUMA SÉRIE DE AMOSTRAS PONTUAIS, PARA OBTENÇÃO DA MÉDIA DE CADA TESTE.

5.2.2. FRAÇÃO DE LODOS FLOTADOS.

O LODO FLOTADO NAS CALHAS, DURANTE A PRIMEIRA BATERIA DE TESTES, FOI ANALISADO A PARTIR DE AMOSTRAS SIMPLES, COLETADAS EM TRÊS PONTOS DISTINTOS DE CADA CALHA; SOBRE A 2ª, 9ª E 16ª COLMEIA. DURANTE A QUARTA BATERIA (TESTES 30 A 34), O LODO FLOTADO FOI ANALISADO A PARTIR DA COLETA DE TODO O VOLUME REMOVIDO DAS CALHAS. NAS DEMAIS BATERIAS DE TESTES, O LODO FLOTADO NÃO FOI OBJETO DE CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA.

OS PARÂMETROS ANALISADOS FORAM: DBO, DQO, NITROGÊNIO K, TOTAL, NITROGÊNIO ORGÂNICO, NITROGÊNIO AMONÍACAL, ORTOFOSFATO, FOSFATO TOTAL, FERRO TOTAL, RESÍDUOS TOTAL, FIXO E VOLÁTIL, UMIDADE, COLIFORMES TOTAIS E FECAIS.

5.3. PARÂMETROS ELÉTRICOS.

OS DADOS DE CORRENTE E TENSÃO DOS TESTES 1 A 24, FORAM REGISTRADOS A CADA 5 MINUTOS, DURANTE O PERÍODO DE TESTES E O CONSUMO DE ENERGIA, AO FINAL DE CADA TESTE, OBTIDO ATRAVÉS DO MEDIDOR.

NOS TESTES 25 A 34, OS DADOS DE CORRENTES E TENSÃO FORAM REGISTRADOS A CADA 15 MINUTOS E O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE CADA TESTE OBTIDO A PARTIR DA MÉDIA ARITMÉTICA DESSES DADOS.

PARA A OBTENÇÃO DE VALORES PRECISOS DE CORRENTE E TENSÃO, AS LEITURAS FORAM REALIZADAS ATRAVÉS DE MULTI-VOLTÍMETROS ESPECÍFICOS PARA CORRENTE CONTÍNUA.

5.4. REGISTRO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS ANALISADOS EM CAMPO.

DURANTE AS CAMPANHAS DE AVALIAÇÃO, FORAM REALIZADAS DETERMINAÇÕES DE PH, TEMPERATURA E CONDUTIVIDADE DO ESGOTO BRUTO AFLUENTE. NOS EFLUENTES DE CADA UNIDADE EM FUNCIONAMENTO (CALHAS E DECANTADORES), ALÉM DOS PARÂMETROS JÁ MENCIONADOS, FORAM ANALISADOS TAMBÉM A TURBIDEZ. AS DETERMINAÇÕES DE CAMPO, FORAM REALIZADAS COM A FREQUÊNCIA DE 30 MINUTOS. DURANTE A PRIMEIRA BATERIA DE TESTES, DO LODO FLOTADO, A CADA DUAS HORAS, FORAM DETERMINADOS PH, TEMPERATURA E CONDUTIVIDADE ESPECÍFICA.

5.5. REGISTRO DA PRODUÇÃO DE LODO FLOTADO.

A PRODUÇÃO DE LODO FLOTADO, NOS TESTES DE 1 A 12, FOI MEDIDA ATRAVÉS DA REMOÇÃO A CADA 3 HORAS NA CALHA I E AO FINAL DE CADA TESTE NA CALHA II. NOS TESTES 13 A 24, O MESMO PROCEDIMENTO FOI MANTIDO PARA A CALHA II, ENQUANTO QUE A CALHA I TEVE O SEU LODO REMOVIDO NA METADE E NO FINAL DO PERÍODO DE DURAÇÃO DO TESTE. PARA OS 10 TESTES FINAIS, A REMOÇÃO DO LODO FLOTADO FOI REALIZADA SOMENTE AO TÉRMINO DE CADA TESTE, EM AMBAS CALHAS.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.

6.1. ASPECTOS GERAIS DE OPERAÇÃO.

AS AVALIAÇÕES COM A UNIDADE PILOTO DE MARÍLIA INDICARAM OS SEGUINTE ASPECTOS MAIS INTERESSANTES:

- A) OS ELETRODOS, PRINCIPALMENTE DAS TRÊS PRIMEIRAS COLMÉIAS, FUNCIONAM COMO VERDADEIRAS UNIDADES DE GRADEAMENTO, RETENDO SÓLIDOS, OS QUAIS OBSTRUEM AS PASSAGENS ENTRE PLACAS E DIFICULTAM O LIVRE TRÂNSITO DAS BOLHAS DE GASES DA ELETROFLOTAÇÃO. A SIMPLES INVERSÃO DA POLARIDADE NÃO ASSEGURA A LIMPEZA DAS PLACAS.
- B) EXISTE UMA TENDÊNCIA DE MELHORIA DA QUALIDADE DO EFLUENTE DA CALHA À MEDIDA QUE SE AUMENTA A DETENÇÃO HIDRÁULICA E A INTENSIDADE DA CORRENTE ELÉTRICA. PARA CADA TEMPO DE DETENÇÃO, EXISTE UMA FAIXA ÓTIMA DE CORRENTE A SER APLICADA E PERCENTUAIS ESPERADOS NA REMOÇÃO DE SÓLIDOS E MATÉRIA ORGÂNICA.
- C) DEFINIDAS AS CONDIÇÕES HIDRÁULICAS E ELÉTRICAS DE OPERAÇÃO DAS CALHAS, O SISTEMA ELETROLÍTICO NÃO DISPÕE DE OUTROS INDICADORES QUE PERMITAM O OPERADOR DETECTAR, EM TEMPO, FALHAS OPERACIONAIS, QUEDA NO RENDIMENTO, DESPERDÍCIO DE ENERGIA, FAIXA ÓTIMA DE OPERAÇÃO, ETC;
- NA PRÁTICA, O CONTROLE OPERACIONAL DO PROCESSO É FEITO A PARTIR DA SIMPLES VISUALIZAÇÃO DA TRANSPARÊNCIA DO EFLUENTE LÍQUIDO DAS CALHAS.
- D) O ACÚMULO EXCESSIVO DE LODO NA SUPERFÍCIE LÍQUIDA DAS CALHAS TENDE A INTERFERIR NA QUALIDADE FINAL DO EFLUENTE, DEVIDO O ARRASTE HIDRÁULICO DE SÓLIDOS. ESSE EFEITO SÓ NÃO É MAIS RELEVANTE PORQUE O LODO ATINGE UM BOM ADENSAMENTO (CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE 7%).

- E) NAS OPERAÇÕES DE ESVAZIAMENTO DAS CÉLULAS ELETROLÍTICAS CONSTATA-SE UM GRANDE ACÚMULO DE SÓLIDOS NO FUNDO DOS CANAIS, "ESCAMAS" DE FERRO DESPREENDIDO DOS ELETRODOS E LODO ENTRE OS ELETRODOS.
- F) A INCLUSÃO DE CLARIFICADORES EM SÉRIE ÀS CALHAS ELETROLÍTICAS, COM VELOCIDADES DE SEDIMENTAÇÃO ENTRE 0,42 E 1,04M/H, MELHORA MUITO POUCO A REMOÇÃO DE DBO E SÓLIDOS E, INDEPENDENTE DAS TAXAS APLICADAS, AS EFICIÊNCIAS DOS DECANTADORES FORAM PRATICAMENTE AS MESMAS.
- G) O RENDIMENTO DO PROCESSO ELETROLÍTICO É VISIVELMENTE AFETADO PELO ESTADO DE LIMPEZA DOS ELETRODOS. QUANDO OXIDADOS, REVESTIDOS POR UMA PELÍCULA DE CARBONATO (DE CORRÊNCIA NORMAL DE FUNCIONAMENTO) OU ISOLADOS POR FENÔMENOS DE POLARIZAÇÃO OU PASSIVAÇÃO, TEM-SE QUE AUMENTAR A TENSÃO PARA SE OBTER A MESMA INTENSIDADE DE CORRENTE, REMOÇÃO DE SÓLIDOS E/OU DE MATÉRIA ORGÂNICA.
- H) A CÉLULA ELETROLÍTICA, QUANDO OPERADA COM DETENÇÃO SUPERIOR A 25 MINUTOS E DDP ENTRE PLACAS EM TORNO DE 2V, TENDE A PRODUZIR UM EFLUENTE COM RAZOÁVEL TRANSPARÊNCIA, PORÉM A SUA QUALIDADE NÃO É ADEQUADA PARA LANÇAMENTO EM CORPOS DE ÁGUA RECEPTORES, PRINCIPALMENTE NO TOCANTE À COLIFORMES FECAIS, SÓLIDOS, FERRO, NITROGÊNIO E DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO.
- I) EM VIRTUDE DO BAIXO TEMPO DE DETENÇÃO EMPREGADO, A ELETRÓLISE É ALTAMENTE SENSÍVEL ÀS VARIAÇÕES NA COMPOSIÇÃO DO ESGOTO E/OU CARGAS DE CHOQUE PROVENIENTES DE DESPEJOS INDUSTRIAIS. O RENDIMENTO DO PROCESSO CAI, DE FORMA CONSIDERÁVEL, QUANDO RECEBE CARGAS SÚBITAS DE EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS OU PICOS DE VAZÃO.

J) DE UMA MANEIRA GERAL, O DESEMPENHO DAS CALHAS ELETROLÍTICAS, NA REMOÇÃO DOS DIVERSOS POLUENTES PRESENTES NO ESGOTO SANITÁRIO, ESTÁ INTIMAMENTE RELACIONADO À SEPARAÇÃO DOS SÓLIDOS POR ELETROCOAGULAÇÃO E ELETROFLOTAÇÃO.

NA SEPARAÇÃO DOS SÓLIDOS, OS SEGUINTE FATORES ESTÃO ENVOLVIDOS:

- , DIÂMETROS E CARGAS ELÉTRICAS DAS PARTÍCULAS PRESENTES NO ESGOTO E SUBMETIDAS À ELETRÓLISE;
- , TEMPO DE PERMANÊNCIA DAS PARTÍCULAS SOB A AÇÃO DO CAMPO ELÉTRICO GERADO;
- , CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO MEIO LÍQUIDO (ELETRÓLITO);
- , DENSIDADE DA CORRENTE ELÉTRICA APLICADA;
- , TAXA DE PRODUÇÃO DE GASES;
- , ESTADO DE LIMPEZA DOS ELETRODOS;
- , FREQUÊNCIA NA REMOÇÃO DO LODO FLOTADO E ACUMULADO NA SUPERFÍCIE LÍQUIDA DAS CÉLULAS.

DIANTE DA IMPOSSIBILIDADE DE SE CORRELACIONAR TODAS AS POSSÍVEIS VARIÁVEIS QUE AFETAM O RENDIMENTO DO PROCESSO ELETROLÍTICO SERÃO DISCUTIDAS, A SEGUIR, OS ASPECTOS MAIS SIGNIFICATIVOS DE CADA AVALIAÇÃO EM RELAÇÃO À REMOÇÃO DOS PRINCIPAIS CONSTITUINTES DO ESGOTO.

NAS TABELAS DE 2 A 8, CONSTAM AS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS AFLUENTES E EFLUENTES DOS DIVERSOS PARÂMETROS OBTIDOS EM LABORATÓRIO NOS 34 TESTES, EFICIÊNCIAS DAS CALHAS E CLARIFICADORES, CONDIÇÕES HIDRÁULICAS E ELÉTRICAS EM QUE AS CALHAS FORAM OPERADAS.

6.2. REMOÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA.

DOS 34 TESTES, CINCO APRESENTARAM EFICIÊNCIAS NEGATIVAS E/OU INFERIORES A 15% NA REMOÇÃO DE DBO, MOTIVADAS, PRINCIPALMENTE, PELA PRESENÇA DE DESPEJOS INDUSTRIAIS NO SISTEMA, PASSIVAÇÃO PARCIAL DOS ELETRODOS DEVIDO À CARBONATAÇÃO E/OU OXIDAÇÃO DAS PLACAS, RAZÕES PELAS QUAIS OS SEUS RESULTADOS NÃO SERÃO CONSIDERADOS.

DOS 29 TESTES RESTANTES, OITO FORAM CONSIDERADOS EXCELENTE, COM REMOÇÕES DE DBO ENTRE 59 A 77%, ENQUANTO QUE NOS DEMAIS, A REMOÇÃO MÉDIA FOI DE 41%. PODE-SE ASSEGURAR QUE A ELETRÓLISE, APLICADA DIRETAMENTE AO ESGOTO SANITÁRIO BRUTO, MANTIDAS AS CONDIÇÕES HIDRÁULICAS E ELÉTRICAS ESPECIFICADAS NA TABELA 8 REMOVE, EM MÉDIA, 48% DA CARGA DE DBO APLICADA E, NO MÁXIMO, 77%. NO TESTE ONDE SE OBTVEVE A MÁXIMA EFICIÊNCIA, A CONCENTRAÇÃO DE DBO NO EFLUENTE DA CÉLULA ELETROLÍTICA FOI DE 102 MG/L. A MENOR CONCENTRAÇÃO FOI DE 84MG/L, OBTIDA NO TESTE 33.

A CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE DBO EFLUENTE DAS CALHAS A PARTIR DO TESTE 25, QUANDO NÃO MAIS EXISTIA A CONTRIBUIÇÃO DE DESPEJOS INDUSTRIAIS, FOI DE 120 MG/L.

O EMPREGO DE DECANTADORES EM SÉRIE ÀS CALHAS ELETROLÍTICAS, LEVOU A UM ACRÉSCIMO GLOBAL DE EFICIÊNCIA NO SISTEMA DE 9%. A EFICIÊNCIA MÉDIA DOS DECANTADORES, OPERANDO COM TAXA SUPERFICIAL DE 1,04M/H, FOI DE 21%.

A TABELA 6 MOSTRA AS EFICIÊNCIAS MÉDIAS OBTIDAS NOS DECANTADORES, PARA DUAS DIFERENTES VELOCIDADES DE SEDIMENTAÇÃO.

ANALISANDO-SE AS POSSÍVEIS INTERAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS LEVANTADAS NOS DIFERENTES ENSAIOS, OBSERVAM-SE ALGUMAS TENDÊNCIAS DE CORRELAÇÃO ENTRE:

AS EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA, TEMPOS HIDRÁULICOS DE DETENÇÃO E INTENSIDADE MÉDIA DE CORRENTE ELÉTRICA APLICADOS. ESSAS CORRELAÇÕES FORAM ESTUDADAS NO RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO SISTEMA E PODEM SER UTILIZADAS PARA FINS DE PROJETO E OPERAÇÃO.

AS EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA, PARA DE TERMINADO TEMPO DE DETENÇÃO, EM FUNÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE A QUANTIDADE DE GÁS PRODUZIDO NA ELETRÓLISE/CARGA DE SÓLIDOS APLICADA ÀS CALHAS. A FIGURA 3 APRESENTA A EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO G/S (PRODUÇÃO DE GÁS EM CNPT POR CARGA DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO APLICADA).

A TABELA 9 APRESENTA, PARA TRÊS DIFERENTES TEMPOS DE RESIDÊNCIA, AS FAIXAS DE G/S EMPREGADAS NO PROJETO E/OU OPERAÇÃO DAS CALHAS E AS RESPECTIVAS FAIXAS DE PROVÁVEIS EFICIÊNCIAS NA REMOÇÃO DE DBO.

DA CORRELAÇÃO ESTABELECIDADA, PODE-SE CONSIDERAR QUE, NO PROCESSO ELETROLÍTICO, A REMOÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA TENDE A AUMENTAR COM A DETENÇÃO HIDRÁULICA E INTENSIDADE DA CORRENTE APLICADA (MAIOR G/S), ATÉ ALCANÇAR A EFICIÊNCIA MÁXIMA. ATINGIDO ESSE PATAMAR E MANTIDA A DETENÇÃO HIDRÁULICA, MESMO QUE SE ELEVE A DENSIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA (MAIOR PRODUÇÃO DE GÁS OU MAIOR RAZÃO G/S), A REMOÇÃO DE DBO TENDE A DIMINUIR E O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ELEVAR-SE DESNECESSARIAMENTE.

O TEMPO DE DETENÇÃO ÓTIMO PARA PROJETO E OPERAÇÃO DAS CALHAS TENDE A SER DE 40 MINUTOS. ESTE PERMITE UMA AMPLA G/S, ASSEGURA AS MAIORES EFICIÊNCIAS NA REMOÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA E LEVA TAMBÉM À RACIONALIZAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.

6.3. REMOÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO.

A APLICAÇÃO DIRETA DA ELETRÓLISE NO ESGOTO SANITÁRIO BRUTO TENDE A SER DEFICIENTE, PELAS SEGUINTEZ RAZÕES;

- . OS FLOCOS FÉRRICOS, PELO SEU PRÓPRIO PESO, NÃO FAVORECEM MUITO A FLOTAÇÃO;
- . AS CALHAS ELETROLÍTICAS, TAL COMO CONCEBIDAS, REUNEM NUMA MESMA CÂMARA OS FENÔMENOS COMBINADOS DE ELETROCOAGULAÇÃO E ELETROFLOTAÇÃO. OS SÓLIDOS FLOTADOS NA SUPERFÍCIE LÍQUIDA, SENÃO REMOVIDOS COM UMA FREQUÊNCIA ADEQUADA, SÃO ARRASTADOS PELO EFLUENTE DAS CALHAS E DIMINUEM O PRÓPRIO RENDIMENTO DO SISTEMA;
- . PARTE DOS SÓLIDOS NÃO É SUBMETIDA À AÇÃO DA FLOTAÇÃO, POIS OS DIÂMETROS DE SUAS PARTÍCULAS NÃO SÃO ELIMINÁVEIS POR ELETROCOAGULAÇÃO OU PELAS SUAS PRÓPRIAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS SEDIMENTAM NATURALMENTE, CONSTITUINDO O LODO DEPOSITADO NO FUNDO DOS CANAIS.

DOS 34 TESTES, CONSTATA-SE QUE A EFICIÊNCIA MÉDIA NA REMOÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO NAS CALHAS ELETROLÍTICAS FOI DE 37%, INFERIOR À OBTIDA EM SEDIMENTADORES PRIMÁRIOS E/OU EM FLOTADORES POR AR DISSOLVIDO (FAD), RECEBENDO ESGOTO SANITÁRIO. A MÁXIMA REMOÇÃO DO PARÂMETRO SS NA CALHA FOI DE 80%, VERIFICADA NO TESTE 33.

NOS ÚLTIMOS 12 TESTES (DO 25 AO 34), COM AS CALHAS RECEBENDO ESGOTO PREDOMINANTEMENTE DOMÉSTICO, A EFICIÊNCIA MÉDIA NA REMOÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO ATINGIU 49,0%. COM O AUXÍLIO DE DECANTADORES EM SÉRIE ÀS CALHAS, A EFICIÊNCIA MÉDIA DO CONJUNTO DE TRATAMENTO (CALHAS E DECANTADORES) PASSOU A SER DE 65% (TAXA SUPERFICIAL DE 1,04M/H). A MÁXIMA PORCENTAGEM DE REMOÇÃO DE SS NO SISTEMA FOI DE 88%, OBTIDA NO TESTE 32.

AS MENORES CONCENTRAÇÕES DE SS VERIFICADAS NO EFLUENTE DAS CALHAS E NOS CLARIFICADORES FORAM RESPECTIVAMENTE, 28MG/L E 35MG/L, OBTIDAS NO TESTE 33.

DA ANÁLISE ENTRE AS VARIÁVEIS LEVANTADAS NAS AVALIAÇÕES, ESTABELECEU-SE UMA CORRELAÇÃO ENTRE A REMOÇÃO DE SS E A RELAÇÃO GÁS PRODUZIDO/CARGA DE SS APLICADO ÀS CALHAS.

A FIG. 4 APRESENTA A CURVA DE REMOÇÃO DE SÓLIDOS PARA DIFERENTES DETENÇÕES, EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO G/S EMPREGADA.

A TABELA 10 MOSTRA, PARA TRÊS DIFERENTES TEMPOS DE DETENÇÃO, AS FAIXAS DE G/S UTILIZADAS E AS REMOÇÕES DE S. SUSPENSÃO PREVISTAS.

TAL COMO NO ÍTEM DBO, PARA CADA TEMPO DE DETENÇÃO, EXISTE UMA RELAÇÃO ÓTIMA G/C_{SS} QUE TENDE A LEVAR À MÁXIMA EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE SÓLIDOS.

6.4. FERRO.

A UTILIZAÇÃO DE ELETRODOS SOLÚVEIS, TAIS COMO FERRO, ALUMÍNIO, ETC, FAZ COM QUE ELES PARTICIPEM DAS REAÇÕES ELETROQUÍMICAS, SEJAM ATACADOS PELA SOLUÇÃO ELETROLÍTICA E NELA DISSOLVIDOS.

AS CONSEQUÊNCIAS IMEDIATAS DA DISSOLUÇÃO ANÓDICA DO FERRO NO MEIO LÍQUIDO SÃO:

- O DESGASTE PREMATURO DOS ELETRODOS E, COMO DECORRÊNCIA, O COMPROMETIMENTO DO PROCESSO ELETROLÍTICO COMO UMA ALTERNATIVA ECONOMICAMENTE VIÁVEL PARA O TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO;
- INIBIÇÃO PARCIAL DA DIGESTÃO ANAERÓBIA DOS LODOS GERADOS PELO PROCESSO;
- AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE FERRO NO EFLUENTE DAS CALHAS;
- DESEQUILÍBRIOS FREQUENTES DA INTENSIDADE DE CORRENTE DE INTERCÂMBIO ENTRE OS ÍONS DO METAL PARA A SOLUÇÃO E VICE-VERSA;

. INCORPORAÇÃO DO ÍON METÁLICO AOS SÓLIDOS FLOTADOS.

ANALISANDO-SE OS RESULTADOS OBTIDOS EM LABORATÓRIO CONSTA-SE QUE, EM 34 TESTES REALIZADOS, A CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE FERRO TOTAL, NA SAÍDA DAS CALHAS, FOI DE 34,8MG/L, CERCA DE 9 VEZES MAIOR QUE A DO ESGOTO BRUTO.

APÓS A SEDIMENTAÇÃO, O EFLUENTE CLARIFICADO AINDA POSSUI APROXIMADAMENTE 17,0MG/L DE FERRO, CERCA DE 4,6 VEZES ACIMA DA CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE FERRO PRESENTE NO ESGOTO BRUTO.

A PRESENÇA DE ÍONS METÁLICOS TEM UM EFEITO INIBIDOR PARA A POPULAÇÃO DE MICROORGANISMOS PRESENTES NUM PROCESSO ANAERÓBIO DE DIGESTÃO. SEGUNDO MASEY F.E. ETAL, A CONCENTRAÇÃO DE CÁTION Fe^{2+} , DA ORDEM DE 1 A 10MG/L, INIBE EM 50% O DIGESTOR ANAERÓBIO.

BALANÇOS DE MASSA EM TORNO DAS CALHAS ELETROLÍTICAS REVELAM QUE O FERRO DOS ELETRODOS DISSOLVE-SE NUMA PROPORÇÃO DE 60G/M³ DE ESGOTO TRATADO OU A UMA VELOCIDADE DE 290G DE FE/HORA. NESSA PROPORÇÃO, 50% DO PESO DE FERRO DOS ELETRODOS SERÁ CONSUMIDO EM APENAS 8 MESES DE CONTÍNUO FUNCIONAMENTO. É IMPORTANTE RESSALTAR QUE A EROSÃO DOS ELETRODOS CONCENTRA-SE NA PARTE INFERIOR DAS PLACAS E DESSE DESGASTE, OCORRE UM MAIOR AFASTAMENTO ENTRE AS PLACAS.

ESTUDOS DE CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE AS DIVERSAS VARIÁVEIS LEVANTADAS DEMONSTRAM QUE A TAXA DE DISSOLUÇÃO DE FERRO É FUNÇÃO DA DETENÇÃO HIDRÁULICA DAS CALHAS E DO CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA (WH/M³). ASSIM, O CONSUMO DE FERRO DAS PLACAS PODE SER ESTIMADO PELA SEGUINTE EQUAÇÃO:

$$T_D = -18.550 + 1,995T + 0,061 Ce \quad (\text{Eq. 13})$$

$$R^2 = 0,700$$

ONDE:

T_D : TAXA DE DISSOLUÇÃO DO FERRO, g/m^3

T : TEMPO DE DETENÇÃO, MIN.

C_E : CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA, Wh/m^3 .

A EQUAÇÃO DEVE SER EMPREGADA NA FAIXA DE CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA DE $208,6 Wh/m^3$ A $1210,65 Wh/m^3$, TEMPO HIDRÁULICO DE DETENÇÃO DE 16,7 MIN A 40,0 MIN.

6.5. REMOÇÃO DE FÓSFORO.

ANALISANDO-SE AS CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO PRESENTES NO EFLUENTE DAS CALHAS, CONCLUI-SE QUE OS SISTEMAS ELETROLÍTICOS, COM ANÓDOS SOLÚVEIS DE FERRO, SÃO MUITO EFICIENTES NA REMOÇÃO DE FÓSFORO.

O ELEVADO PERCENTUAL REMOVIDO, NAS FORMAS ORTO OU TOTAL, DEVE-SE, PRINCIPALMENTE, À COMBINAÇÃO DO FÓSFORO COM ÍONS METÁLICOS DE FERRO, LIBERADO DAS PLACAS, FORMANDO FOSFATOS FERROSOS INSOLÚVEIS QUE SE PRECIPITAM OU SÃO ARRASTADOS À SUPERFÍCIE LÍQUIDA DAS CALHAS.

EM TERMOS DE FOSFATO TOTAL, INCLUINDO-SE OS RESULTADOS DE TODOS OS 34 TESTES, A REMOÇÃO VARIOU APROXIMADAMENTE DE 18,0% A 87,0%, ENQUANTO, NA FORMA DE ORTOFOSFATO, PARA OS 24 PRIMEIROS ENSAIOS, O PERCENTUAL DE REMOÇÃO OSCILOU ENTRE 61% E 99%.

ESSAS EFICIÊNCIAS SÃO SUPERIORES ÀS OBSERVADAS EM PROCESSOS BIOLÓGICOS DE TRATAMENTO, A NÍVEL SECUNDÁRIO. OS PERCENTUAIS DE REMOÇÃO DE FÓSFORO TOTAL, EM PROCESSOS BIOLÓGICOS SECUNDÁRIOS, OSCILAM ENTRE 10 A 30%.

DA ANÁLISE DOS DIVERSOS PARÂMETROS LEVANTADOS, ESTABELECEU-SE UMA CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE AS EFICIÊNCIAS NA REMOÇÃO DE FÓSFORO TOTAL, DETENÇÃO HIDRÁULICA E INTENSIDADE MÉDIA DE CORRENTE ELÉTRICA.

ATRAVÉS DA REGRESSÃO MÚLTIPLA ABAIXO, PODE-SE ESTIMAR A EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE FÓSFORO TOTAL NAS CÉLULAS ELETROLÍTICAS.

$$E = -78,31 + 1,74T + 2,90 I \quad (\text{Eq. 14})$$

$$R^2 = 0,77$$

ONDE:

E = EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE FÓSFORO TOTAL NAS CALHAS, %

T = TEMPO DE DETENÇÃO, MIN.

I = INTENSIDADE MÉDIA DA CORRENTE A.

AS FAIXAS DE APLICABILIDADE DESTA EQUAÇÃO SÃO, DETENÇÃO HIDRÁULICA DAS CALHAS DE 20 MIN A 40 MIN E INTENSIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA DE 18,81A A 36,8A.

6.6. REMOÇÃO DE COLIFORMES FECAIS.

DE UMA MANEIRA GERAL, AS PORCENTAGENS DE REDUÇÃO DO NÚMERO DE COLIFORMES FECAIS NO PROCESSO ELETROLÍTICO SÃO POU CO SIGNIFICATIVAS. NÃO EXISTE A MENOR EVIDÊNCIA QUE O CLO RO NASCENTE, EVENTUALMENTE GERADO DURANTE A ELETRÓLISE DOS CLORETOS, TENHA UMA AÇÃO BACTERICIDA EFICAZ NO DECLÍNIO DOS MICROORGANISMOS. É POU CO PROVÁVEL TAMBÉM QUE A CORRENTE ELÉTRICA, APLICADA DIRETAMENTE A UMA MISTURA TÃO HETEROGÊNEA DESTROUA OU INATIVE TAIS MICROORGANISMOS.

NA PRÁTICA, A REMOÇÃO DE COLIFORMES É PRINCIPALMENTE CON SEQUÊNCIA DA SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS DO MEIO LÍQUIDO POR ELE TROFLOTAÇÃO E POR DECANTAÇÃO SIMPLES.

NA SUPERFÍCIE E FUNDO DAS CALHAS CONCENTRAM-SE PORTANTO NÚMEROS SIGNIFICATIVOS DESSES MICROORGANISMOS. A MANIPULA ÇÃO DESSE LODO REQUER CUIDADOS ESPECIAIS POIS SE CONSTI TUI UM GRAVE RISCO À SAÚDE DOS OPERADORES.

DOS 34 TESTES REALIZADOS, EXCLUINDO-SE OS DE NÚMEROS 1 E 8 (EFICIÊNCIAS NEGATIVAS), A EFICIÊNCIA MÉDIA NA REMOÇÃO DE COLIFORMES FECAIS NAS CALHAS FOI DE 77,97%, A MÍNIMA DE 12,70% (TESTE 5) E A MÁXIMA DE 97,84% (TESTE 12).

A CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE COLIFORMES FECAIS NO ESGOTO BRUTO FOI DA ORDEM DE $4,49 \times 10^8$ COLI/100ML E NA SAÍDA DAS CALHAS DE $1,11 \times 10^8$ COLI/100ML. A MENOR CONCENTRAÇÃO DE COLIFORMES FECAIS NO EFLUENTE DAS CALHAS, OCORREU NO TESTE 34 E FOI DE $1,0 \times 10^6$ COLI/100ML.

COM A INCLUSÃO DOS DECANTADORES, A EFICIÊNCIA MÉDIA GLOBAL DO SISTEMA PASSOU DE 78,0% PARA 88,0% O QUE REPRESENTA UM GANHO POUCO SIGNIFICATIVO.

RESSALTA-SE AINDA QUE O DESEMPENHO DOS DECANTADORES NA REMOÇÃO DE COLIFORMES FECAIS É BASTANTE IRREGULAR, PROVAVELMENTE PORQUE MUITO DOS MICROORGANISMOS ESTÃO AGREGADOS A SÓLIDOS LEVES, FINAMENTE DIVIDIDOS E NÃO REMOVIDOS PELO PROCESSO.

AS TABELAS 11 E 12 APRESENTAM AS REDUÇÕES DE NMP DE COLIFORMES FECAIS NAS CALHAS E DECANTADORES E AS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS AFLUENTES E EFLUENTES EM TODOS OS TESTES REALIZADOS.

6.7. LODO FLOTADO.

A SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS DO MEIO LÍQUIDO É A PRINCIPAL RESPONSÁVEL PELA REDUÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA NO SISTEMA ELETROLÍTICO. OS SÓLIDOS SEPARADOS ACUMULAM-SE, PRINCIPALMENTE, NA SUPERFÍCIE LÍQUIDA DAS CALHAS, SENDO QUE UMA FRAÇÃO MENOR SEDIMENTA NO FUNDO DOS CANAIS.

BALANÇOS DE MASSA EM TORNO DAS CALHAS, PARA OS TESTES COM MAIOR DURAÇÃO (MÉDIA DE 21 HORAS), INDICAM QUE, APROXIMADAMENTE 90% DA CARGA ORGÂNICA REMOVIDA DAS CALHAS SÃO DEVIDO À ELETROFLOTAÇÃO E 10% À SEDIMENTAÇÃO.

PARA OS TESTES COM DURAÇÃO DA ORDEM DE 4 HORAS, O PERCENTUAL DA CARGA ORGÂNICA REMOVIDA, PRESENTE NO LODO FLOTADO ATINGE CERCA DE 60%.

6.7.1. CARACTERÍSTICAS E QUANTIDADE DE LODO GERADO.

A QUANTIDADE DE LODO GERADO PELO PROCESSO ELETROQUÍMICO FOI OBTIDA A PARTIR DE MEDIÇÕES DIRETAS DO LODO FORMADO E RETIRADO DAS CALHAS.

AS TABELAS 13 E 14 APRESENTAM OS VOLUMES DE LODO MEDIDO NOS ONZE PRIMEIROS TESTES, UMIDADE E MASSA DE SÓLIDOS SECOS.

PELOS DADOS DISPONÍVEIS, PODE-SE INFERIR QUE A PRODUÇÃO DE SÓLIDOS SECOS, EM KG/M^3 DE ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA, É LIGEIRAMENTE SUPERIOR À OBTIDA EM UM PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO PRIMÁRIA, CONVENCIONAL.

A PRODUÇÃO DE LODO FLOTADO TENDE A SER MAIOR QUANDO AUMENTA O TEMPO HIDRÁULICO DE DETENÇÃO, A INTENSIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA (OU POTÊNCIA ESPECÍFICA APLICADA) E O TEMPO DE FUNCIONAMENTO DAS CALHAS.

AS REGRESSÕES MÚLTIPLAS, A SEGUIR, PERMITEM ESTIMAR A PRODUÇÃO DE LODO FLOTADO A PARTIR DE DIVERSAS VARIÁVEIS LEVANTADAS NOS TESTES:

$$PL = -350,966 + 0,073PE + 5,772TD + 28,331DT \quad (Eq. 15).$$

$$R^2 = 0,803$$

ONDE:

PL = VOLUME DE LODO FLOTADO, L

PE = POTÊNCIA ESPECÍFICA, W/L.S^{-1}

TD = TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA, MIN.

DT = DURAÇÃO DO TESTE, H.

A EQUAÇÃO É VÁLIDA PARA OS SEGUINTE INTERVALOS:

POTÊNCIA ESPECÍFICA ENTRE 547,39 W/L.S⁻¹ À 4.358,48 W/L.S⁻¹; DETENÇÃO HIDRÁULICA ENTRE 16,7 MIN A 40 MIN. E DURAÇÃO DE TESTE ENTRE 3,46H A 22,0H.

$$PL = -1.276,07 + 2,88SS + 32,21 I + 30,20T_D \quad (\text{Eq. 16}),$$

$$R^2 = 0,91$$

ONDE:

PL = VOLUME DE LODO FLOTADO, L

SS = CARGA DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO, APLICADA ÀS CALHAS, KG.

I = INTENSIDADE MÉDIA DE CORRENTE DO TESTE, A.

T_D = TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA, MIN.

ESTA EQUAÇÃO É VÁLIDA PARA AS SEGUINTE FAIXAS DE APLICAÇÃO: SS ENTRE 20,7KG E 60,87KG; I ENTRE 21,9A E 34,8A E T_D ENTRE 16,7 E 32,9MIN.

UMA OUTRA REGRESSÃO QUE PERMITE ESTIMAR A PRODUÇÃO DE LODO FLOTADO É A SEGUINTE:

$$PL = -1020,284 + 21,8091 I + 11,651T_D + 28,393D_T \quad (\text{Eq. 17}),$$

$$R^2 = 0,859$$

ESTA EQUAÇÃO SE APLICA PARA AS SEGUINTE FAIXAS:

INTENSIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA ENTRE 21,9 A 36,8A. TEMPO DE DETENÇÃO ENTRE 16,7 A 35MIN E TEMPO DE DURAÇÃO DE TESTE, DE 6,96H A 22,0H.

A TABELA 15 APRESENTA OS DADOS TÍPICOS SOBRE A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE LODO FLOTADO NAS CALHAS ELETROLÍTICAS EM ESTUDO E LODO BRUTO PRIMÁRIO DE PROCESSOS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO. PODE-SE CON

CLUIR QUE, NA MÉDIA, O LODO PROVENIENTE DAS CALHAS É POUCO MAIS CONCENTRADO DO QUE O LODO BRUTO DA SEDIMENTAÇÃO PRIMÁRIA. O VALOR DE AMBOS OS LODOS, COMO FERTILIZANTE OU CONDICIONADOR DE SOLO, É MUITO BAIXO. UM FERTILIZANTE QUÍMICO COMUM TEM 8% DE NITROGÊNIO, 8% FÓSFORO (COMO P_2O_5) E 8% DE POTÁSSIO (COMO K_2O); O FLOTADO, ALÉM DE APRESENTAR MENORES PROPORÇÕES DESSES NUTRIENTES, POSSUI UMA CONCENTRAÇÃO DE FERRO QUE PODERÁ SER INDESEJÁVEL PARA MUITOS SOLOS E CULTURAS.

6.7.2. CONTAMINAÇÃO DO LODO.

O LODO FLOTADO, GERADO PELO PROCESSO ELETROLÍTICO, PODE CONSTITUIR UM RISCO OU AMEAÇA À SAÚDE HUMANA, PORQUÊ CONTÉM BACTÉRIAS, VÍRUS E OVOS DE PARASITAS PROVENIENTES DO PRÓPRIO ESGOTO.

ESSES MICROORGANISMOS PATOGÊNICOS NÃO SÃO DESTRUÍDOS PELA AÇÃO DIRETA DA CORRENTE ELÉTRICA OU CLORO, EVENTUALMENTE PRODUZIDO A PARTIR DA DISSOCIAÇÃO ELETROLÍTICA DE CLORETOS.

A TABELA 16 MOSTRA OS PRINCIPAIS ORGANISMOS PRESENTES NO LODO BRUTO FLOTADO E APÓS 7 E 14 DIAS DE DESIDRATAÇÃO EM LEITOS DE SECAGEM. NAS AMOSTRAS ANALISADAS, DOIS GRUPOS PRINCIPAIS FORAM IDENTIFICADOS: BACTÉRIAS INDICADORAS DE CONTAMINAÇÃO FECAL, OVOS E LARVAS DE HELMINTOS OU NEMATÓIDES. PROTOZOÁRIOS E VÍRUS ENTÉRICOS NÃO FORAM PESQUISADOS PORQUE, ENTRE OUTRAS RAZÕES, É DIFÍCIL ISOLAR E/OU ENCONTRAR BONS INDICADORES DO COMPORTAMENTO DE VÍRUS PATOGÊNICOS NO LODO DE ESGOTO.

NAS AMOSTRAS ANALISADAS, NÃO FORAM IDENTIFICADAS BACTÉRIAS PATOGÊNICAS DA ESPÉCIE SALMONELLA.

EM RELAÇÃO AOS DEMAIS AGENTES PATOGÊNICOS IDENTIFICADOS NAS AMOSTRAS DE LODO, CONSTATAMOS:

- A QUANTIDADE DE OVOS DE ASCARIS LUMBRICOIDES E TAENIA SPP, ANTES E APÓS SECAGEM DOS LODOS, NÃO DECLINOU DE FORMA SIGNIFICATIVA PORQUE ESSES OVOS APRESENTAM MAIORES RESISTÊNCIAS ÀS CONDIÇÕES AMBIENTAIS ADVERSAS, TAIS COMO, A RADIAÇÃO SOLAR, CALOR, FRIO, ARIDEZ, ETC. ESSES AGENTES DESEMPEHAM UM PAPEL IMPORTANTE NA TRANSMISSÃO DE DOENÇAS, ASSOCIADA À UTILIZAÇÃO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO, PORQUE SOBREVIVEM, POR MUITO TEMPO, NO SOLO, NA ÁGUA E CULTURAS. OVOS DE ASCARIS NO SOLO PODEM SOBREVIVER ATÉ 7 ANOS E, EM FRUTAS E VEGETAIS, DE 27 A 35 DIAS.
- OS OVOS DE ANCILOSTOMÍDEOS TAMBÉM, APÓS SECAGEM, FORAM POUCO REDUZIDOS EM SUA QUANTIDADE. OS OVOS E LARVAS DESSES HELMINTOS DESENVOLVEM E SOBREVIVEM EM SOLOS ARENOSOS OU ARGILO-ARENOSOS, MESMO COM POUCA UMIDADE E A LONGEVIDADE DAS LARVAS, EM CONDIÇÕES NATURAIS, PODE SER DE MUITOS DIAS.
- OS ÍNDICES DE COLIFORMES FECAIS E STREPTOCOCCUS FAECAIS, APÓS 14 DIAS DE SECAGEM, AINDA ERAM ELEVADOS, O QUE DEMONSTRA SER MAIOR O TEMPO DE SOBREVIVÊNCIA DESSES MICROORGANISMOS.

É PRUDENTE ESPERAR PORTANTO QUE ESSES AGENTES PATOGÊNICOS, COLOQUEM EM RISCOS CULTURAS, HOMENS E ANIMAIS QUANDO O LODO É UTILIZADO PARA FINS AGRÍCOLAS. A TRANSMISSÃO DA DOENÇA PODE OCORRER VIA ÁGUA SUBTERRÂNEA, VIA O HOMEM ENTRANDO EM CONTATO FÍSICO COM O PRÓPRIO LODO, VIA A CADEIA ALIMENTAR OU ATRAVÉS DO MANUSEAMENTO DA COLHEITA NO SOLO E, FINALMENTE, VIA ATRAVÉS DOS AEROSÓIS.

6.7.3. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.

AS EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA NAS CALHAS ELETROLÍTICAS NOS 34 TESTES, MESMO INCLUINDO OS DECANTADORES, FORAM POUCO SIGNIFICATIVAS, ENQUANTO O CONSUMO DE ENERGIA POR QUILO DE DBO REMOVIDA EXTREMAMENTE ELEVADO, BEM SUPERIOR AO CONSUMO DE ENERGIA OBSERVADO NOS PROCESSOS DE LODOS ATIVADOS E SUAS VARIANTES.

EXCLUINDO-SE OS TESTES NÚMEROS 1, 5, 19 E 30, POR APRESENTAREM EFICIÊNCIAS NEGATIVAS E BAIXÍSSIMAS EM DBO ELABOROU-SE, COM OS RESULTADOS DOS DEMAIS TESTES, A TABELA 17 DE CONSUMO DE ENERGIA POR KG DE DBO REMOVIDA.

DOS DADOS LEVANTADOS NESTAS AVALIAÇÕES, CONSTATAMOS:

- A) A MÁXIMA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DBO, VERIFICADA NO TESTE 28, OPERANDO CALHAS E DECANTADORES, FOI DE 77% E O CONSUMO DE ENERGIA NO SISTEMA FOI DE 1,849 Wh/Kg DE DBO REMOVIDA, CERCA DE 47% SUPERIOR AO OBSERVADO EM PROCESSOS DE LODOS ATIVADOS, OS QUAIS REMOVEM DE 90 A 95% DA DBO E CONSOMEM, APROXIMADAMENTE, 1260Wh/Kg DE DBO REMOVIDO.
- B) OS TESTES QUE LEVARAM A UM CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA/KG DE DBO REMOVIDO INFERIOR AO DE LODOS ATIVADOS, RESULTARAM NUMA EFICIÊNCIA MÉDIA DE REMOÇÃO DE DBO DE 44%.
- C) VINTE E QUATRO TESTES APRESENTARAM RELAÇÕES Wh/Kg DE DBO REMOVIDA, DE 2,7 VEZES A PREVISTA NO PROCESSO DE LODOS ATIVADOS.

ESSAS COMPROVAÇÕES, POR SI SÓ TENDEM A MOSTRAR QUE O PROCESSO ELETROLÍTICO CONSOME EXAGERADAMENTE OU DESPERDIÇA ENERGIA ELÉTRICA NA REMOÇÃO DA CARGA POLUIDORA.

6.8. CARACTERÍSTICAS DOS LÍQUIDOS PROVENIENTES DAS DESCARGAS DE FUNDO DAS CALHAS,

O ESVAZIAMENTO DIÁRIO DAS CALHAS ELETROLÍTICAS, NECESSÁRIO PARA SE ASSEGURAR UMA ADEQUADA LIMPEZA DOS ELETRODOS É UM REQUERIMENTO OPERACIONAL DO PROCESSO.

O LÍQUIDO PROVENIENTES DESSAS DESCARGAS TEM, NA SUA COMPOSIÇÃO, SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS PROVENIENTES DO ESGOTO BRUTO, PARTÍCULAS FINAMENTE DIVIDIDAS ADSORVIDAS A FLOCOS DE HIDRÓXIDO DE FERRO, COLIFORMES FECAIS E FERRO, EM ESCAMAS, DESPREENDIDO DOS ELETRODOS.

ATÉ O PRESENTE, ESSAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS SÃO ENCAMINHADAS DIRETAMENTE PARA OS LEITOS DE SECAGEM, ALI SE DECOMPÕEM E EXALAM ODORES OBJETÁVEIS. ESTES ASPECTOS NÃO FORAM AINDA CONTEMPLADOS NA CONCEPÇÃO DE PROJETO DESSES SISTEMAS E OS ATUAIS INVESTIGADORES DO PROCESSO TEIMAM EM IGNORÁ-LOS.

A COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LÍQUIDO PROVENIENTE DO ESVAZIAMENTO DAS CALHAS ACHA-SE APRESENTADA NAS TABELAS 18 E 19. PELOS DADOS LEVANTADOS NOS TESTES COM 7 HORAS DE DURAÇÃO (TESTES 13 AO 24), OBSERVA-SE QUE OS DIVERSOS COMPONENTES DO ESGOTO APRESENTAM-SE BEM MAIS CONCENTRADOS QUE NOS TESTES COM DURAÇÃO APROXIMADA DE 4 HORAS.

AS DISCREPÂNCIAS SÃO CONSEQUÊNCIAS DOS DIFERENTES TEMPOS DE ADENSAMENTO EMPREGADOS NOS ENSAIOS.

AS DETERMINAÇÕES LABORATORIAIS REVELAM TAMBÉM QUE AS DESCARGAS DAS CALHAS PRECISAM SER TRATADAS ANTES DE ENVIÁ-LAS A LEITOS DE SECAGEM, CURSOS D'ÁGUA, ETC.

6.9. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PARÂMETROS ELÉTRICOS.

ATÉ O PRESENTE, A ELETROQUÍMICA NÃO DISPÕE DE INFORMAÇÕES SUFICIENTES A RESPEITO DOS PRINCIPAIS PROCESSOS QUE OCORREM NA INTERFACE ELETRODO-ELETROLITO, QUANDO SE REALIZA A ELETRÓLISE DO ESGOTO BRUTO. AS PROVÁVEIS RAZÕES SÃO:

- A HETEROGENEIDADE DAS SUBSTÂNCIAS PRESENTES NO ESGOTO;
- A PREDOMINÂNCIA DE PARTÍCULAS DISPERSAS DE MACRO MOLÉCULAS (PROTEÍNAS, CARBOIDRATOS E AMINOÁCIDOS) COM DIÂMETROS QUE LEVAM A CLASSIFICAR O ESGOTO COMO UMA DISPERSÃO COLOIDAL À GROSSEIRA E NÃO COMO UMA SOLUÇÃO VERDADEIRA;
- A DIFICULDADE DE SE INVESTIGAR AS MUDANÇAS QUE OCORREM NA SUPERFÍCIE DO ELETRODO QUANDO NESTE CIRCULA UMA CORRENTE ELÉTRICA.

DO PONTO DE VISTA PRÁTICO, OS ENSAIOS COM A UNIDADE PILOTO DE MARÍLIA POSSIBILITARAM ALGUMAS CONSTATAÇÕES ENTRE O SISTEMA ELÉTRICO E O FUNCIONAMENTO DAS CALHAS ELETROLÍTICAS:

- A) A INTENSIDADE DA CORRENTE ELÉTRICA NOS ELETROLITOS DE SEGUNDA CLASSE (ELETROLITOS) NÃO SEGUE A LEI DE OHM., NA SUA FORMA MAIS COMUM POIS, DE ACORDO COM ELA, A INTENSIDADE DE CORRENTE EM UM CIRCUITO É PROPORCIONAL A TENSÃO.

NOS PROCESSOS ELETROLÍTICOS, A INTENSIDADE DE CORRENTE PERMANECE INSIGNIFICANTE QUANDO SE CRIA OU AUMENTA PAULATINAMENTE UMA TENSÃO, ATÉ QUE ESTA ATINJA UM VALOR MÍNIMO. A PARTIR DESTES PONTOS, INICIA-SE A ELETRÓLISE PROPRIAMENTE DITA E À MEDIDA QUE SE ELEVA A TENSÃO, OCORRE UM INCREMENTO NA INTENSIDADE DE CORRENTE.

POR CONSEQUINTE, A DECOMPOSIÇÃO DE SUBSTÂNCIAS POR ELETRÓLISE SÓ TRANSCORRE À TENSÕES DETERMINADAS E SUFICIENTES, CARACTERÍSTICAS DE UMA DADA SOLUÇÃO, DOS ELETRODOS (TIPO, TAMANHO E ESPAÇAMENTO) E DA CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO. EXPERIÊNCIAS DESENVOLVIDAS NA UNIDADE PILOTO DE MARÍLIA, INDEPENDENTES DOS TESTES REALIZADOS, PERMITEM OBTER DOIS TIPOS DE CORRELAÇÃO ENTRE A INTENSIDADE DE CORRENTE E TENSÃO APLICADA, QUE PODEM SER UTILIZADAS NO PROJETO DE CALHAS ELETROLÍTICAS COM AS MESMAS CARACTERÍSTICAS DE ELETRODO (ÁREA, AFASTAMENTO E TIPO, TOTAL DE CHAPAS).

DESPREZANDO, PRATICAMENTE, AS RESISTÊNCIAS DO ELETRODO E DO MEIO, E UTILIZANDO-SE VARIAÇÕES INSTANTÂNEAS ENTRE E E I , A PARTIR DO VARIVOLT, AS SEGUINTE EQUAÇÕES FORAM OBTIDAS:

$$E = 0,096 D_c + 0,184 \quad (\text{Eq.18})$$

$$R = 0,999$$

ONDE:

E = TENSÃO ENTRE PLACAS OU COLMEIAS, V.

D_c = DENSIDADE DE CORRENTE, A/m^2 ; ($1,34 \leq D_c \leq 37 A/m^2$)

$$E = 0,590 I + 2,919 \quad (\text{Eq.19})$$

$$R = 0,999$$

ONDE:

E = TENSÃO APLICADA AO CONJUNTO DE COLMEIAS, V.

I = CORRENTE ELÉTRICA DO SISTEMA, A; ($3,5A \leq I \leq 97,0A$)

$$I = 1,687E - 4,82$$

$$R = 0,999$$

ONDE:

I = INTENSIDADE MÉDIA DA CORRENTE ELÉTRICA APLICADA, A

E = TENSÃO APLICADA AO SISTEMA, V ($4,0V \leq E \leq 60$)

A PARTIR DO LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS, EN
CONTRANDO-SE AS CALHAS OPERANDO PARA DIFERENTES CONDI
ÇÕES HIDRÁULICAS, TENSÕES E CORRENTES, FORAM ESTABELE
CIDAS AS SEGUINTE CORRELAÇÕES ESTATÍSTICAS:

$$E = 2,344 I + 1,934 \quad (\text{Eq. 21})$$

$$R^2 = 0,804$$

ONDE:

E = TENSÃO MÉDIA APLICADA AO SISTEMA, V,

I = INTENSIDADE MÉDIA DA CORRENTE RESULTANTE, A
($22A \leq I \leq 37A$).

$$I = 0,343E + 4,916 \quad (\text{Eq. 22})$$

$$R^2 = 0,804$$

ONDE:

I = INTENSIDADE MÉDIA DA CORRENTE, A,

E = TENSÃO MÉDIA APLICADA, V ($49V \leq E \leq 93V$)

$$E = (0,84) \cdot e^{(0,085)D_c} \quad (\text{Eq. 23})$$

$$R^2 = 0,8$$

ONDE:

E = TENSÃO ENTRE PLACAS OU COLMÉIAS, V,

D_c = DENSIDADE DE CORRENTE, A/M² ($8,545 \leq D_c \leq 14,132$)

ESSAS TRÊS ÚLTIMAS EQUAÇÕES SÃO REPRESENTATIVAS DAS
CONDIÇÕES NORMAIS DE OPERAÇÃO DAS CALHAS E DEMONSTRAM,
DIRETA OU INDIRETAMENTE, A VARIAÇÃO DO ESTADO ELÉTRICO
DOS ELETRODOS, A ALTA RESISTÊNCIA ELÉTRICA DE SISTEMA
PROVENIENTE DO ELETRÓLITO E A SOBRELEVAÇÃO DA TENSÃO,
APLICADA EM ALGUNS ENSAIOS, PARA SE OBTER A DESEJADA
INTENSIDADE DE CORRENTE.

DAS VARIAÇÕES DO ESTADO ELETRÓDICO DOS ELETRODOS PODEM TER OCORRIDO, EM DIVERSOS ENSAIOS, POLARIZAÇÃO DOS ELETRODOS E SOBRETENSÃO (OU SOBREVOLTAGEM).

OS ENSAIOS ONDE PREDOMINARAM BAIXAS CONDUTIVIDADES ESPECÍFICAS ($\leq 400 \mu S/CM$) E D.D.P ENTRE ELETRODOS INFERIORES A 1,7V, NÃO DEVEM TER OCORRIDO OS PROCESSOS ELETRQUÍMICOS E SIM UM PROCESSO FÍSICO DE CARGA DE ELÉTRONS.

DAS MEDIÇÕES DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA ESPECÍFICA DOS ESGOTOS, TENSÕES APLICADAS E INTENSIDADES DE CORRENTE CIRCULADAS NO SISTEMA, CONCLUI-SE QUE A RESISTÊNCIA ELÉTRICA DO MEIO LÍQUIDO RESPONDE POR CERCA DE 75% DA RESISTÊNCIA TOTAL DO SISTEMA.

OS VALORES MÉDIOS DE E, I E R, EM SESSENTA E DOIS EVENTOS, MOSTRAM QUE A RESISTÊNCIA MÉDIA DO ESGOTO, TRATADO NA UNIDADE ELETROLÍTICA PILOTO, FOI DE APROXIMADAMENTE $1,80\Omega$.

DOS TESTES 29 AO 34, ALGUNS APRESENTARAM ELEVADAS RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS NÃO POR BAIXA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO ELETRÓLITO, MAS EM CONSEQUÊNCIA DO ADIANTADO ESTÁGIO DE OXIDAÇÃO DOS ELETRODOS. EXPOSTOS ANTERIORMENTE AO TEMPO, SEM ADEQUADA LIMPEZA, LEVOU À FORMAÇÃO DE UMA PELÍCULA PROTETORA DE ÓXIDO E, POSSIVELMENTE À PASSIVIDADE TEMPORÁRIA DO METAL. NESTES TESTES, PARA SE MANTER UMA DETERMINADA INTENSIDADE DE CORRENTE, QUE PROPORCIONASSE UMA ADEQUADA TAXA DE PRODUÇÃO DE GÁS, APLICOU-SE MAIORES TENSÕES E, EM CONSEQUÊNCIA, MAIS ELEVADAS FORAM AS POTÊNCIAS CONSUMIDAS EM RELAÇÃO À QUANTIDADE DE MATÉRIA ORGÂNICA REMOVIDA.

CETESB - CIA. DE TÉCNOLOGIA E SERVIÇO AMBIENTAL
 BIBLIOTECA

B) A ELETRÓLISE DA ÁGUA S  OCORRE QUANDO SE APLICA UMA DIFERENÇA MÍNIMA DE POTENCIAL ENTRE OS ELETRODOS, DE NOMINADO DE TENS  O PADR  O DE DECOMPOSI  O CALCULADA, TEORICAMENTE EM 1,23V. COMO EXISTEM PERDAS E RESIST  NCIAS NO ELETRODO E NO ELETROLITO, A TENS  O DE DECOMPOSI  O A APLICAR DEVER   SUPLANTAR A MÍNIMA TE ÉRICA,

ASSIM, MESMO COM EMPREGO DE ELETRODOS DE MENOR RESIS T  NCIA (PLATINA), O POTENCIAL DE DECOMPOSI  O DEVER   SER DA ORDEM DE 1,7V.

C) A PASSAGEM DA CORRENTE EL  TRICA NO SISTEMA ACARRETA TAMB  M A DISSOLU  O ELETROLÍTICA DO METAL. ISTO  , A DESTRUI  O DA SUA REDE CRISTALINA E A PASSAGEM DE  IONS DO METAL PARA A SOLU  O. ESTE PROCESSO ELETR  DICO, DENOMINADO DE POLARIZA  O AN  DICA, TRANSCORRE A GRANDES VELOCIDADES NAS CALHAS. COMO A LIBERA  O DE  IONS DE FERRO PARA A SOLU  O   IMPORTANTE PARA A ELE TROCOAGULA  O DAS IMPUREZAS ORG ÚNICAS, ESTA PODE SER DIMINUIDA NA PRESEN  A DE ÁCIDOS, OU QUANDO SE COMUNI CA AO AN  DO MET ÁLICO UM POTENCIAL QUE SOBREPASSA UM CERTO VALOR DETERMINADO. ESSE ESTADO DOS METAIS DENO MINA-SE DE PASSIVIDADE.

  PROV  VEL QUE AO SE APLICAR MAIORES TENS  OES, OS ELE TRODOS POSSAM TER SOFRIDO PASSIVA  O AN  DICA. EM AL GUNS TESTES, EMBORA COM DENSIDADES DE CORRENTE ELEVA DAS, E TEMPOS HIDR  ULICOS SUFICIENTES, A EFICI  NCIA NA REMO  O DE S  LIDOS EM SUSPENS  O TENDERAM A DIMI NUIR. COMO A PRODU  O DE G  S RESPONDE PELA EFICI  NCIA NA SEPARA  O DE S  LIDOS ELETROFLOCULADOS E   DIRETA MENTE PROPORCIONAL A INTENSIDADE DE CORRENTE, ERA L   GICO QUE AS EFICI  NCIAS N  O DECLINASSEM.

O DECL  NIO PODE ESTAR ASSOCIADO   PASSIVIDADE.

7. COMPARAÇÃO DE CUSTOS COM ALGUNS PROCESSOS DE TRATAMENTO.

7.1. INTRODUÇÃO.

O OBJETIVO DESTE CAPÍTULO É O DE APRESENTAR UM ESTUDO COMPARATIVO SIMPLIFICADO DOS CUSTOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO ELETROLÍTICO EM RELAÇÃO A ALGUNS OUTROS TIPOS DE TRATAMENTO, ENFOCANDO OS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO, DE OPERAÇÃO E DE RELAÇÃO CUSTO/BENEFÍCIO, VISTO QUE A ABORDAGEM DE APENAS UM DESSES ASPECTOS PODE LEVAR A CONCLUSÕES PRECIPITADAS E ERRÔNEAS, SOBRE A VIABILIDADE OU NÃO DE UM DETERMINADO PROCESSO DE TRATAMENTO.

OUTRO PONTO IMPORTANTE DE TODO ESTUDO ECONÔMICO, É A POSSIBILIDADE QUE TEM O EFLUENTE TRATADO DE OBSERVAR AS LIMITAÇÕES IMPOSTAS PELA LEGISLAÇÃO VIGENTE, QUE NO CASO DO PROCESSO ELETROLÍTICO EM RELAÇÃO AO PARÂMETRO FERRO, É DIFÍCIL DE VALORAR SOB O ASPECTO CUSTO/BENEFÍCIO.

OS PROCESSOS DE TRATAMENTO SELECIONADOS PARA ESTE ESTUDO FORAM:

- FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO, COM A UTILIZAÇÃO DE CLORETO FÉRRICO COMO COAGULANTE, QUE APRESENTA UMA EFICIÊNCIA DE 70% EM TERMOS DE REMOÇÃO DE DBO;
- LODOS ATIVADOS POR AERAÇÃO PROLONGADA, COM EFICIÊNCIA DE 95% EM TERMOS DE REMOÇÃO DE DBO;
- LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO COM EFICIÊNCIA DE 85% EM TERMOS DE REMOÇÃO DE DBO;
- ELETROLÍTICO, CONSTANDO DE CALHAS E DECANTADORES, COM EFICIÊNCIA GLOBAL DE 70%.

PARA EFEITO DE COMPARAÇÃO, OS CUSTOS FORAM CONSIDERADOS PARA SISTEMAS COM CAPACIDADES SEMELHANTES ÀS DO PROCESSO ELETROLÍTICO DA BACIA DO BARBOSA EM MARÍLIA, QUAIS SEJAM:

- VAZÃO MÉDIA: 1,0 L/s (86,4m³/DIA)
- POPULAÇÃO ATENDIDA: 720 HABITANTES
- NÚMERO DE LIGAÇÕES: 160
- CARGA DE DBO AFLUENTE: 36,115 KG/DIA.

7.2. CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO.

OS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO CONSIDERADOS FORAM AQUELES REFERENTES À OBRAS, SERVIÇOS, EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E MECÂNICOS E MONTAGEM, BASEADOS EM LITERATURA, LEVANTAMENTOS DA CETESB, RESULTANDO NOS VALORES APRESENTADOS NA TABELA 20.

AS ÁREAS NECESSÁRIAS PARA TRATAMENTO SÃO DA ORDEM DE 2,0m²/HABITANTE PARA LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO (AUSTRALIANAS) E DE 0,5m²/HABITANTE PARA OS DEMAIS PROCESSOS. DEVE SE RESSALTAR QUE, SE ADOTADO O PRINCÍPIO DE TRATAMENTOS SETORIZADOS, CONFORME DEFENDIDO PELO ENG^o. WOLFGANG GUILHERME WIENDL, SOMENTE AS LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO TERIAM NECESSIDADE DE SER LOCADAS FORA DO PERÍMETRO URBANO, ACARRETANDO, VIA DE REGRA NUM MENOR CUSTO UNITÁRIO POR M² EM RELAÇÃO AO CUSTO DAS ÁREAS DOS DEMAIS TIPOS DE TRATAMENTO.

7.3. CUSTOS OPERACIONAIS.

OS CUSTOS OPERACIONAIS ENVOLVIDOS NOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO ESTUDADOS PODEM SER RESUMIDOS DE UMA FORMA GERAL EM MÃO DE OBRA, ENERGIA ELÉTRICA, PRODUTOS QUÍMICOS, REPOSIÇÃO DE ELETRODOS, MANUTENÇÃO ELETROMECÂNICA, CONTROLE OPERACIONAL E DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO E DE MATERIAL GRADEADO E ARENOSO.

A SEGUIR SERÁ EFETUADA UMA ANÁLISE DESSES CUSTOS PARA CADA UM DOS PROCESSOS ESTUDADOS, TENDO COMO DATA BASE O MÊS DE JULHO DE 1988, CORRESPONDENDO À OTN DE Cz\$ 1.598,26.

7.3.1. MÃO DE OBRA.

A HIPÓTESE É QUE O TRATAMENTO FUNCIONE 24 HORAS/DIA, O QUE TORNA NECESSÁRIO, NO MÍNIMO, 4 EQUIPES DE REVEZAMENTO EM TURNO DE 8 HORAS, SENDO ASSUMIDO UM SALÁRIO BASE DE Cz\$ 15.000,00/MÊS COM 100% DE ENCARGOS SOCIAIS.

PARA O CASO ESPECÍFICO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO, CONSIDERANDO QUE A EXIGÊNCIA DE MÃO DE OBRA SE RESTRINGE A MANUTENÇÃO DE TALUDES, ALÉM DA REMOÇÃO DE MATERIAIS GRADEADOS E ARENOSOS, COMUM A TODOS OS TRATAMENTOS, ADOTOU-SE UMA SÓ EQUIPE E PARA TODOS OS CASOS, EM FUNÇÃO DA PEQUENA CAPACIDADE DO TRATAMENTO (1 L/S), CADA EQUIPE SERÁ FORMADA DE APENAS UM ELEMENTO.

7.3.2. ENERGIA ELÉTRICA.

O CONSUMO DE ENERGIA PARA A FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO SERÁ REFERENTE A UM MOTO-COMPRESSOR DE 0,5CV OPERANDO 3H/DIA E DE BOMBA DE ALIMENTAÇÃO MAIS EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS CORRESPONDENTES A 1,1CV OPERANDO 24H/DIA TOTALIZANDO 616,032 kWh/MÊS.

PARA O CASO DE LODOS ATIVADOS POR AERAÇÃO PROLONGADA FOI CONSIDERADO UM CONSUMO DE 1,260 kWh/kg DBO REMOVIDO, RESULTANDO EM 1.296,88 kWh/MÊS.

O CONSUMO DE ENERGIA PARA O PROCESSO ELETROLÍTICO FOI BASEADO NA CONDIÇÃO ÓTIMA DE OPERAÇÃO DE 67V E 28A, RESULTANDO NO CONSUMO DE ENERGIA DE 1,351kWh/MÊS.

AS LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO POR NÃO POSSUIREM EQUIPAMENTO ELETROMECÂNICOS NÃO TEM CONSUMO DE ENERGIA.

O CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA SERVIÇOS PÚBLICOS DE ÁGUA E ESGOTO EM BAIXA TENSÃO (GRUPO B) É DE Cz\$ 18,51175/kWh.

7.3.3. PRODUTOS QUÍMICOS.

DOS PROCESSOS ESTUDADOS, O ÚNICO QUE UTILIZA PRODUTOS QUÍMICOS É O DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO, NO QUAL É DOSADO 200MG DE CLORETO FÉRRICO COMO COAGULANTE POR LITRO DE ESGOTO TRATADO.

O CUSTO DO CLORETO FÉRRICO É DE Cz\$ 32,676/KG ONDE JÁ SE INCLUE 20% REFERENTE AO TRANSPORTE.

7.3.4. REPOSIÇÃO DE ELETRODOS.

O PROCESSO ELETROLÍTICO É O ÚNICO EM QUE A REPOSIÇÃO DE ELETRODOS É OBRIGATÓRIA, VISTO QUE A VIDA ÚTIL DAS COLMÉIAS É DE APENAS 8 MESES, CONFORME DE FINIDA NO ITEM 6.4, SENDO QUE O CONJUNTO DE ELETRODOS DE AÇO CARBONO (28 COLMÉIAS) TEM UM PESO TOTAL DE 3.360 KG.

7.3.5. MANUTENÇÃO.

O CUSTO DE MANUTENÇÃO INCIDE DIRETAMENTE SOBRE EQUIPAMENTOS ELETROMECAÑICOS, INCLUINDO EVENTUAIS REPOSIÇÕES PARCIAIS OU TOTAIS, NÃO ONERANDO, PORTANTO, O PROCESSO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO. APESAR DISSO, FOI CONSIDERADO QUE ESTE CUSTO ONERE IGUALMENTE TODOS OS PROCESSOS, NÃO ENTRANDO NA COMPARAÇÃO.

7.3.6. DISPOSIÇÃO FINAL DE MATERIAIS GRADEADOS E ARENOSOS E DE LODOS.

ESTE CUSTO FOI CONSIDERADO IGUAL PARA TODOS OS PROCESSOS, VISTO QUE O GRADEAMENTO E A DESARENAÇÃO SÃO NECESSÁRIOS EM TODOS. A QUANTIDADE DE LODO GERADA NO PROCESSO ELETROLÍTICO É PRATICAMENTE IGUAL ÀQUELA DA DECANTAÇÃO PRIMÁRIA, CONFORME ITEM 6.7.1 E PORTANTO MENOR QUE A DA AERAÇÃO PROLONGADA E A

DA FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO.

O CASO MENOS DISPENDIOSO É O DE LAGOAS FACULTATIVAS, QUE ALÉM DE NÃO GERAR LODO, NÃO NECESSITA EM HIPÓTESE ALGUMA TRANSPORTAR MATERIAIS GRADEADO E ARENOSO, VISTO QUE ESTES PODEM SER DISPOSTOS NA PRÓPRIA ÁREA DO TRATAMENTO.

7.3.7. CONTROLE OPERACIONAL.

O CUSTO DE CONTROLE OPERACIONAL FOI CONSIDERADO IDÊNTICO PARA TODAS AS ALTERNATIVAS.

7.3.8. RESUMO DOS CUSTOS OPERACIONAIS.

A TABELA 21 APRESENTA UM RESUMO DOS CUSTOS ANUAIS DE OPERAÇÃO EM OTN, POR TIPO DE PROCESSO.

7.4. RESUMO GERAL DOS CUSTOS.

A SIMPLES COMPARAÇÃO ESTÁTICA DOS CUSTOS ENVOLVIDOS NA IMPLANTAÇÃO E NA OPERAÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO É ALTAMENTE SUSPEITA, PARA NÃO DIZER TENDENCIOSA, VISTO QUE ESSES CUSTOS INCIDEM EM MOMENTOS DIFERENTES.

DESTA FORMA, FOI ADOTADO O MÉTODO DE VALOR PRESENTE COM BASE EM 20 ANOS DE VIDA ÚTIL DO SISTEMA FORA O ANO DE IMPLANTAÇÃO E TAXA DE OPORTUNIDADE DE CAPITAL DE 11%, VALORES NORMALMENTE ADOTADOS PARA OBRAS DE SANEAMENTO. COM BASE NAS TABELAS 20 E 21 FOI MONTADA A TABELA 22, RESUMINDO TODOS OS CUSTOS ENVOLVIDOS PARA SISTEMAS COM 1,0 L/S DE CAPACIDADE, ONDE A IMPLANTAÇÃO CORRESPONDE AO ANO ZERO.

DESSA TABELA, PODEMOS CONCLUIR QUE:

- A) EM RELAÇÃO AOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO, O PROCESSO ELETROLÍTICO CORRESPONDE À 75% DA FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO, 60% DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO E 15% DE LODOS

ATIVADOS POR AERAÇÃO PROLONGADA. ENTRETANTO, DEVE-SE RESSALTAR QUE OS CUSTOS REFERENTES A LODOS ATIVADOS PRESSUPÕEM QUE TODOS OS TANQUES DE AERAÇÃO SEJAM EM CONCRETO ARMADO, ENQUANTO QUE OS TANQUES DO PROCESSO ELETROLÍTICO FORAM CONSIDERADOS EM ALVENARIA, O QUE NÃO É VÁLIDO QUANDO TIVERMOS UNIDADES DE MAIOR CAPACIDADES.

B) Os custos totais em valor presente do processo eletrolítico são cerca de 3,4% superior aos de lodos ativados, 58,5% aos de flotação por ar dissolvido e 354,8% aos de lagoa de estabilização. Além disso, considerando que as remoções de DBO são diferentes e ser este um dos parâmetros básicos da legislação no que se refere a efluentes ao final de 20 anos, teremos os seguintes índices:

TIPO DE PROCESSO	OTN/1000kg DBO REMOVIDA
, FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO	55,9
, LODO ATIVADO	63,1
, LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO	16,0
, ELETROLÍTICO	89,1

POR OUTRO LADO, TANTO O PROCESSO DE FLOTAÇÃO E O ELETROLÍTICO, FREQUENTEMENTE NÃO ATENDEM AO REQUISITO BÁSICO DE REMOÇÃO DE DBO IMPOSTO PELA LEGISLAÇÃO (80%), DEVENDO, PORTANTO SEREM SEGUIDOS POR UM TRATAMENTO COMPLEMENTAR. NO CASO ESPECÍFICO DA ELETRÓLISE, TEMOS AINDA QUE CONSIDERAR A ALTA CONCENTRAÇÃO DE FERRO NO EFLUENTE, MESMO COM UMA DECANTAÇÃO FINAL. ESTE EFEITO DELETÉRIO NÃO FOI CONSIDERADO NESTA ANÁLISE DE CUSTOS POR SER UM DOS ÍTENS IMENSURÁVEIS.

c) PODEMOS VERIFICAR PELA TABELA 21, QUE EMBORA AS LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO SEJAM O ÚNICO PROCESSO QUE TEM QUE SER IMPLANTADO A UMA DISTÂNCIA DOS NÚCLEOS URBANOS, APRESENTA CUSTOS OPERACIONAIS TÃO BAIXOS QUE, AO FIM DE 5 ANOS, A ECONOMIA RESULTANTE PERMITIRIA A IMPLANTAÇÃO DE UM EMISSÁRIO DE 1 KM AO PREÇO DE 5 OTN/M.

8. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO.

8.1. PRELIMINARES.

O PROCESSO ELETROLÍTICO SE CONSTITUI NUMA ETAPA PRIMÁRIA DE TRATAMENTO DE ESGOTO, COM EFICIÊNCIA BASTANTE REDUZIDA E DE ELEVADO CUSTO OPERACIONAL.

AS CALHAS ELETROLÍTICAS REMOVEM PARTE DA MATÉRIA ORGÂNICA RELATIVA AOS SÓLIDOS REMOVIDOS DO MEIO LÍQUIDO DURANTE A ELETRÓLISE.

A ELETRÓLISE NO ESGOTO BRUTO EXERCE DUAS FUNÇÕES: CLARIFICA O ESGOTO ATRAVÉS DA SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS DO MEIO LÍQUIDO E ADENSA OS SÓLIDOS FLOTADOS NA SUPERFÍCIE LÍQUIDA DAS CALHAS.

OS PERCENTUAIS DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E SÓLIDOS EM SUSPENSÃO, ATRAVÉS DO USO DE CALHAS ELETROLÍTICAS, SÃO COMPARÁVEIS AOS DE UM FLOTADOR POR AR DISSOLVIDO E LIGEIRAMENTE SUPERIORES AOS DE UM DECANTADOR PRIMÁRIO.

O LODO RESULTANTE DAS CALHAS É DESIDRATADO EM LEITOS DE SECAGEM, SEM SUBMETER-SE A QUALQUER PROCESSO DE ESTABILIZAÇÃO.

O EFLUENTE LÍQUIDO, COM COLORAÇÃO ESVERDEADA, É CONSTITUÍDO POR MATÉRIA ORGÂNICA DISSOLVIDA E SÓLIDOS ELETROCOAGULADOS.

A FRAÇÃO DISSOLVIDA CONTINUA NÃO SENDO REMOVIDA DO PROCESSO E BOA PARTE DOS SÓLIDOS FLOCULADOS É RETIDA NO DECANTADOR.

O SOBRENADANTE CLARIFICADO NÃO É SUBMETIDO A TRATAMENTO ADICIONAL, EMBORA VENHA SENDO DIVULGADO A APLICABILIDADE DE "FILTROS DE AREIA" (NÃO FILTROS BIOLÓGICOS) COMO UMA ALTERNATIVA.

8.2. PROCEDIMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO.

O DIMENSIONAMENTO DAS CALHAS ELETROLÍTICAS, PARA ESGOTO ESSENCIALMENTE DOMÉSTICO, MANTIDA A CONCEPÇÃO DAS ATUALMENTE EXISTENTES, DEVERÁ LEVAR EM CONSIDERAÇÃO ALGUNS PROCEDIMENTOS BÁSICOS:

- A) A FAIXA RECOMENDADA PARA TAXA SUPERFICIAL É DE 15 A $35 \text{ m}^3/\text{m}^2$.DIA, QUE RESULTA NUM TEMPO DE DETENÇÃO MÍNIMO DE 20 MINUTOS PARA A VAZÃO MÁXIMA E DE 30 MINUTOS PARA A VAZÃO MÉDIA, CONSIDERANDO UMA LÂMINA LÍQUIDA MÉDIA DA ORDEM DE 0,65M. O TEMPO DE DETENÇÃO DEVE SER ASSEGURADO COM O EMPREGO DE DISPOSITIVOS TAIS QUE EVITEM CURTO CIRCUITOS HIDRÁULICOS E GARANTAM O CONTATO DA MASSA LÍQUIDA COM OS ELETRODOS DE TODAS AS COLMÉIAS.
- B) A VELOCIDADE TRANSVERSAL DE ESCOAMENTO NO CANAL DEVERÁ FICAR COMPREENDIDA ENTRE 25 E 30M/MIN.
- C) A ÁREA TOTAL DE ELETRODOS DEVERÁ SER DEFINIDA A PARTIR DA ANÁLISE CONJUNTA DE 4 VARIÁVEIS: DENSIDADE DE CORRENTE, RELAÇÃO G/S (PRODUÇÃO DE GÁS/QUANTIDADE DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO), DETENÇÃO HIDRÁULICA E EFICIÊNCIA ESPERADA NA REMOÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO E MATÉRIA ORGÂNICA.

AS FIGURAS 3 E 4 CORRELACIONAM AS EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DE DBO E S,S COM A RELAÇÃO G/S E O TEMPO DE DETENÇÃO NAS CALHAS.

A PRODUÇÃO DE GÁS G ESTÁ RELACIONADA DIRETAMENTE À DENSIDADE DE CORRENTE E PODE SER ESTIMADA PELA EQUAÇÃO $12, G. (1/\text{m}^2, \text{DIA}) = 16,60 D_c - 3,5 ; (2 \leq D_c \leq 12 \text{ A}/\text{m}^2)$.

- D) POR FACILIDADES DE MONTAGEM, SUBSTITUIÇÃO E LIMPEZA, É RECOMENDÁVEL QUE O PESO ÚTIL DE CADA COLMÉIA ESTEJA NUMA FAIXA DE 100 A 150kg.

DIVIDINDO-SE O PESO DAS COLMEIAS OBTIDO NO ÍTEM ANTERIOR, PELO PESO UNITÁRIO ADOTADO, TEM-SE O NÚMERO DE COLMÉIAS DO SISTEMA (N_c), E A ÁREA DE PLACAS EM CADA COLMÉIA.

- E) O NÚMERO DE PLACAS POR COLMEIA SERÁ OBTIDO PELA SEGUINTE EXPRESSÃO:

$$N_p = \frac{L_c + L - 2FL}{E + 1} \quad (\text{Eq. 24})$$

ONDE:

N_p = NÚMERO DE PLACAS

L_c = LARGURA DO CANAL, CM.

L = ESPAÇAMENTO ENTRE PLACAS, CM.

E = ESPESSURA DE PLACAS, CM.

FL = DISTÂNCIA ENTRE A COLMEIA E AS PAREDES DO CANAL.

CONHECIDOS POR COLMÉIA, A ÁREA TOTAL DE PLACAS E O NÚMERO DE PLACAS, OBTEM-SE A ÁREA DE CADA PLACA. AS DIMENSÕES DA PLACA DEVEM LEVAR EM CONSIDERAÇÃO A PROFUNDIDADE DO CANAL.

- F) DEFINIDOS A DENSIDADE DE CORRENTE, ÁREA ÚTIL DE PLACAS E NÚMERO DE PLACAS POR COLMÉIA, OBTEM-SE A INTENSIDADE DE CORRENTE ENTRE PLACAS E NO CONJUNTO DE COLMÉIAS DO SISTEMA.

- G) A RESISTÊNCIA DO ESGOTO, EM TODO O CONJUNTO DE CALHAS, PODE SER ESTIMADA PELA SEGUINTE EQUAÇÃO:

$$R_{TE} = \frac{(N_c) \cdot (L)}{(N_p - 1)_c \cdot (X.S)} \quad (\text{Eq. 25})$$

ONDE:

R_{TE} : RESISTÊNCIA DEVIDO AO MEIO LÍQUIDO, EM TODO O SISTEMA.

N_C : NÚMERO DE COLMÉIAS EM SÉRIE,

$(N_C - 1)$: NÚMERO DE PLACAS - 1 (NÚMERO DE VAZIOS POR COLMÉIA).

X : CONDUTIVIDADE ELÉTRICA ESPECÍFICA DO ESGOTO, S/CM.

S : ÁREA ÚTIL DO ELETRODO, CM^2 .

L : AFASTAMENTO ENTRE AS PLACAS, CM.

H) CONSIDERANDO QUE A RESISTÊNCIA DO ESGOTO, OBTIDA NO ÍTEM ANTERIOR, EQUIVALE 53% A 77% DE TODA A RESISTÊNCIA VERIFICADA E MEDIDA NO SISTEMA ELETROLÍTICO E EM PREGANDO-SE A LEI DE OHM, PODE-SE ESTIMAR QUE A TENSÃO A SER APLICADA NO SISTEMA SERÁ DE $(1,3 \text{ A } 1,9)R_E I$, ONDE R_E É A RESISTÊNCIA DO ESGOTO EM TODO O SISTEMA EM OHMS E I A INTENSIDADE DE CORRENTE EM AMPERES.

A TENSÃO RESULTANTE POR COLMÉIA DEVERÁ SER SUFICIENTE PARA QUE OCORRA A ELETRÓLISE E A PRODUÇÃO DE GASES. A MÍNIMA DEVERÁ SER SUPERIOR A 1,7V/COLMÉIA.

I) A CAPACIDADE DA FONTE DE CORRENTE CONTÍNUA PODERÁ SER CALCULADA PELA SEGUINTE EXPRESSÃO:

$$P = (1,7 \text{ A } 2,5)R_E \cdot I^2 \quad (\text{Eq. 26})$$

ONDE:

P = POTÊNCIA TOTAL DO SISTEMA EM, WATTS

R_E = RESISTÊNCIA DO ESGOTO, EM TODO O SISTEMA, OHMS

I = INTENSIDADE DA CORRENTE DA COLMÉIA, AMPERES.

COMO O VALOR CALCULADO, VIA DE REGRA, NÃO CORRESPONDE À POTÊNCIA ENCONTRADA COMERCIALMENTE, A POTÊNCIA DO TRANSFORMADOR, NECESSÁRIO PARA O SISTEMA, DEVERÁ SER A COMERCIAL.

- J) NO TOCANTE À SEGURANÇA DO OPERADOR, A INSTALAÇÃO ELETROLÍTICA DO SISTEMA ELETROQUÍMICO DEVERÁ ATENDER ÀS RECOMENDAÇÕES DA NBR 5410 DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, SEGUNDO A REFERIDA NORMA, NO SEU CAPÍTULO 411, ÍTEM 1.3.7, NAS INSTALAÇÕES DE CORRENTE CONTÍNUA, A PARTIR DA TENSÃO DE 60V, DEVERÃO SER TOMADAS PRECAUÇÕES CONTRA OS CONTATOS DIRETOS. BARREIRAS OU INVÓLUCROS, A SEREM INSTALADOS, DEVEM APRESENTAR UM GRAU DE PROTEÇÃO IP2X OU UMA ISOLAÇÃO QUE POSSA SUPOORTAR UMA TENSÃO DE 500V POR MINUTO.
- K) A QUANTIDADE DIÁRIA DE LODO GERADO PELO PROCESSO PODE SER ESTIMADA A PARTIR DAS EQUAÇÕES 15,16 E/OU 17. A ÁREA NECESSÁRIA PARA LEITOS DE SECAGEM DEVE SER CALCULADA TOMANDO-SE COMO REFERÊNCIA UM CICLO DE SECAGEM DE 7 DIAS E CAMADA DE LODO COM ESPESSURA DE 10CM.
- L) A UNIDADE DE DECANTAÇÃO PODE SER CALCULADA PARA UMA TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL DA ORDEM 1,25M/H E VAZÃO POR METRO DE VERTEDOR DE SAÍDA DE 3,0 A 6,0M³/H.M.

9. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS RECOMENDADOS.

LEVANDO EM CONTA OS RESULTADOS DE TODOS OS ENSAIOS, PROPÕE-SE UM PONTO ÓTIMO PARA OPERAÇÃO DAS CALHAS ELETROLÍTICAS DA UNIDA DE PILOTO DE MARÍLIA.

A OTIMIZAÇÃO É FIXADA A PARTIR DOS GRÁFICOS DAS FIGURAS 3 E 4 QUE CORRELACIONAM A EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DBO E SÓLIDOS EM SUSPENSÃO COM A RELAÇÃO GÁS/SÓLIDOS (G/S) E O TEMPO DE DETENÇÃO NAS CALHAS, PROCURANDO-SE OBTER, COMO RESULTADO FINAL UMA REMOÇÃO DE DBO DA ORDEM DE 72% PARA TODO O SISTEMA, SENDO 65% NAS CALHAS ELETROLÍTICAS E 20% NOS DECANTADORES.

ESTA REMOÇÃO NAS CALHAS ELETROLÍTICAS SÓ É POSSÍVEL COM O EMPREGO DA RELAÇÃO G/S DE 0,6 L/G DE GÁS DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO QUE É OBTIDA QUANDO SE IMPÕE UMA DENSIDADE DE CORRENTE DE 12 A/M² E UM TEMPO DE DETENÇÃO DE 30 MINUTOS (1,22 L/S), REFERIDA A UMA CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE RESÍDUO NÃO FILTRÁVEL DE 260MG/L, DE ESGOTO BRUTO (TABELA 2).

AS CONDIÇÕES ELÉTRICAS SÃO OBTIDAS COM UMA AMPERAGEM MÉDIA DE 31,2A NO QUADRO ELÉTRICO QUE CORRESPONDE A APROXIMADAMENTE 75,0V (EQ. 21). A POTÊNCIA CONSUMIDA SERÁ PORTANTO DE 1,918W/L.S⁻¹.

A PERMANÊNCIA DO PERCENTUAL GLOBAL DE EFICIÊNCIA DO SISTEMA DEPENDERÁ MUITO DO ESTADO DE LIMPEZA E CONSERVAÇÃO DOS ELETRODOS, FREQUÊNCIA ADEQUADA NA REMOÇÃO DO LODO FLOTADO E DO ESVAZIAMENTO E LIMPEZA DOS CANAIS.

É RECOMENDÁVEL QUE AS PLACAS SEJAM LIMPAS A PARTIR DO INSTANTE QUE OS VALORES DAS RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS DO SISTEMA FOREM IGUAIS OU SUPERIORES A 2,70HMS.

A LIMPEZA DAS PLACAS PODERÁ SER FEITA ATRAVÉS DE RASPAGEM MECÂNICA DA SUPERFÍCIE DOS ELETRODOS (ENTRE OS VÃOS) E QUIMICAMENTE, COM A ADIÇÃO DE PEQUENAS QUANTIDADES DE ÁCIDO SULFÚRICO NO CONTEÚDO LÍQUIDO DAS CALHAS. O CONTROLE DA ADIÇÃO DO ÁCIDO

DEVE SER FEITO A PARTIR DAS OBSERVAÇÕES DE TENSÃO E CORRENTE DO QUADRO ELÉTRICO, RESPEITANDO A CAPACIDADE DA FONTE CONTÍNUA.

A OPERAÇÃO DE LIMPEZA DEVE SER PROCESSADA COM A CALHA FORA DE SERVIÇO OU DURANTE AS HORAS DE VAZÃO MÍNIMA.

É RECOMENDÁVEL QUE A REMOÇÃO DO LODO FLOTADO SEJA FEITA, NO MÁXIMO, A CADA TRÊS HORAS. A QUANTIDADE DE LODO GERADO PODE SER ESTIMADA PELAS EQUAÇÕES 15, 16 e/ou 17.

NAS HORAS DE MENOR CONTRIBUIÇÃO HIDRÁULICA, DIARIAMENTE, AS CALHAS DEVEM SER ESVAZIADAS E LIMPAS COM JATOS DE ÁGUA SOB PRESSÃO. O LÍQUIDO DRENADO DOS CANAIS DEVE SER ENCAMINHADO AO TANQUE IMHOFF EVITANDO, DESTA FORMA, A DESCARGA NOS LEITOS DE SECAGEM OU CURSO D'ÁGUA.

A UNIDADE DE DECANTAÇÃO A SER UTILIZADA SERÁ O PRÓPRIO IMHOFF EXISTENTE. EMBORA A TAXA DE DISSOLUÇÃO ANÓDICA DE FERRO SEJA SIGNIFICATIVA, A INIBIÇÃO DA DIGESTÃO PELO EXCESSO DE FERRO SERÁ ATENUADA PORQUE O DIGESTOR DO IMHOFF TEM UMA CAPACIDADE MUITO SUPERIOR À DE TRATAMENTO DAS CALHAS ELETROLÍTICAS.

DURANTE A REMOÇÃO DO LODO FLOTADO, O OPERADOR DEVERÁ USAR LUVAS, BOTAS ADEQUADAS E EVITAR TODA A FORMA DE CONTATO DIRETO.

O LODO SECO DEVERÁ SER DISPOSTO EM ATERRO SANITÁRIO E QUALQUER POSSIBILIDADE DE USO, PARA FINS AGRÍCOLAS, DEVE SER DESCARTADO.

10. CONCLUSÕES.

1. AS CALHAS ELETROLÍTICAS, COM ANÓDOS SOLÚVEIS, APLICADAS DIRETAMENTE AO ESGOTO BRUTO APRESENTAM EFICIÊNCIAS LIMITADAS NA REMOÇÃO DE DBO, POIS APENAS CLARIFICAM A FASE LÍQUIDA E REMOVEM A MATÉRIA ORGÂNICA CORRESPONDENTE AOS SÓLIDOS ELETROFLOTADOS. O PROCESSO É BASTANTE SUSCETÍVEL ÀS ALTERAÇÕES BRUSCAS NAS CARACTERÍSTICAS QUALITATIVAS DO ESGOTO AFLUENTE (CARGAS DE CHOQUE), SENDO A MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DO EFLUENTE TAMBÉM MUITO DEPENDENTE DO ESTADO DE LIMPEZA E CONSERVAÇÃO DAS PLACAS. ESTAS CAUSAS, ENTRE OUTRAS, DIFICULTAM O ESTABELECIMENTO DE UM PADRÃO DE EFLUENTE TRATADO ESTÁVEL;

2. AS UNIDADES DE DECANTAÇÃO EM SÉRIE, ÀS CALHAS ELETROLÍTICAS, COM TAXAS DE APLICAÇÃO DE 1,04M/H, REMOVEM, EM MÉDIA, 21% DA DBO E 20% DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO REMANESCENTES.

A DECANTABILIDADE DO EFLUENTE LÍQUIDO DAS CALHAS, ATRAVÉS DE DECANTADORES OU DE QUALQUER OUTRA OPERAÇÃO FÍSICA DE SEPARAÇÃO, NÃO RESULTA NA SENSÍVEL MELHORIA DA EFICIÊNCIA, POIS A MATÉRIA ORGÂNICA DISSOLVIDA CONTINUA NÃO SENDO REMOVIDA DO PROCESSO.

3. DE UMA MANEIRA GERAL, A EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DBO E DE SÓLIDOS SUSPENSOS NAS CALHAS TENDE A SER MAIS SIGNIFICATIVA À MEDIDA QUE AUMENTA A DETENÇÃO HIDRÁULICA E A INTENSIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA. O QUADRO A SEGUIR, ELABORADO COM BASE NA CONCENTRAÇÃO MÉDIA PONDERADA DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO DO ESGOTO BRUTO DOS 34 TESTES, MOSTRA ESSE COMPORTAMENTO:

TEMPO DE DETENÇÃO (MIN)	20	30	40
INTENSIDADE DE CORRENTE (A),	19,4 A 28,5	18,0 A 38,6	15,6 A 40,0
EFICIÊNCIA OBTIDA NA REMOÇÃO DE DBO. (%)	30 A 42	42 A 74	51 A 70
EFICIÊNCIA OBTIDA NA REMOÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO (%).	27 A 37	37 A 61	58 A 71

4. DOS TESTES REALIZADOS E CONSIDERADOS APROVEITÁVEIS, AS EFICIÊNCIAS MÍNIMA, MÉDIA PONDERADA E MÁXIMA DE REMOÇÃO DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS, OBSERVADAS NO CONJUNTO DE TRATAMENTO (CALHAS E DECANTADORES COM 1,04m/h), FORAM AS SEGUINTE:

	MÍNIMA	MÉDIA	MÁXIMA
DBO	43	66	81
S. SUSPENSÃO	44	65	88
COLIFORMES FECAIS	55	73	97
FÓSFORO TOTAL	72	85	97
NITROGÊNIO TOTAL	-19	26	56

AS MENORES CONCENTRAÇÕES, DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS, NO EFLUENTE DAS CALHAS E DECANTADORES FORAM:

EFLUENTE DAS CALHAS:

DBO : 84 mg/L (TESTE 33)
 S. SUSPENSÃO : 28 mg/L (TESTE 33)
 C. FECAIS : 1×10^6 COLI/100ML (TESTE 34)

FÓSFORO TOTAL : 0,53MG/L (TESTE 29)
NITROGÊNIO TOTAL: 18,0 MG/L (TESTE 25)
FERRO TOTAL : 14,8 MG/L (TESTE 28)

EFLUENTE DOS DECANTADORES (1,04M/H):

DBO : 59 MG/L (TESTE 34)
S,SUSPENSÃO : 36 MG/L (TESTE 32)
C,FECAIS : $1,6 \times 10^6$ COLI/100ML (TESTE 34)
FÓSFORO TOTAL : 0,18 MG/L (TESTE 34)
NITROGÊNIO TOTAL: 14,5 MG/L (TESTES 31 E 33)
FERRO TOTAL : 10,8 MG/L (TESTE 33)

5. O LODO FLOTADO GERADO NO PROCESSO É FACILMENTE DESIDRATADO EM LEITOS DE SECAGEM, TODAVIA A INATIVAÇÃO DOS MICROORGANISMOS PATOGENICOS NÃO É ASSEGURADA PELA SIMPLES DESIDRATAÇÃO E SECAGEM AO SOL. OS NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO DO LODO POR BACTÉRIAS, OVOS E LARVAS DE HELMINTOS, APÓS 7 E 14 DIAS DE SECAGEM, CONSTAM NA TABELA 16.
6. A UTILIZAÇÃO DO LODO PARA FINS AGRÍCOLAS É DESACONSELHADA NÃO SÓ PELO NÍVEL DE CONTAMINAÇÃO COMO PELO SEU BAIXO VALOR FERTILIZANTE. A PROPORÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES NO LODO É DE 5,1%; 2,4%; 0,16%.
7. O LÍQUIDO PROVENIENTE DA DESCARGA DAS CALHAS APRESENTA NÚMERO SIGNIFICATIVO DE COLIFORMES FECAIS (MÉDIA DE $4,5 \times 10^8$ COLI/100ML). A DESCARGA DESSA CONTRIBUIÇÃO, DIRETA OU INDIRETAMENTE, EM CURSOS D'ÁGUA OU LEITOS DE SECAGEM É CONTRA INDICADO PORQUANTO REPRESENTA CERCA DE 6% DE CARGA POLUIDORA QUE INGRESSA NA CALHA.

8. O FERRO DOS ELETRODOS DISSOLVE-SE A UMA TAXA MÉDIA DE 60g/M³ DE ESGOTO TRATADO OU A UMA VELOCIDADE DE 290g DE FE/HORA DE FUNCIONAMENTO DAS CALHAS. NESSA PROPORÇÃO, 50% DO PESO DO FERRO DOS ELETRODOS SERÃO CONSUMIDOS EM APENAS 8 MESES DE FUNCIONAMENTO CONTÍNUO. EM CONSEQUÊNCIA, A CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE FERRO TOTAL NOS EFLUENTES DA CALHA E DECANTADOR É DE, RESPECTIVAMENTE, 9 E 4,6 VEZES MAIOR DO QUE A DO ESGOTO BRUTO.
9. O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA REMOVER 1kg DE DBO NO SISTEMA ELETROLÍTICO, CONSTANDO DE CALHAS E DECANTADORES, NAS MELHORES CONDIÇÕES DE DESEMPENHO, AINDA É CERCA DE 34 A 47% MAIOR DO QUE O DE UM LODO ATIVADO POR AERAÇÃO PROLONGADA, VARIANTE MAIS DISPENDIOSA. NESSAS CONDIÇÕES, O CONSUMO PER CÁPITA DE ENERGIA VARIOU DE 63 A 83 Wh/HAB.DIA.
10. O CUSTO OPERACIONAL DO SISTEMA, INCLUINDO DESPESAS COM ENERGIA ELÉTRICA, REPOSIÇÃO DE ELETRODOS E MÃO DE OBRA, É DA ORDEM DE 1,0 OTN/LIGAÇÃO X MÊS. CONSIDERANDO QUE A TARIFA DE ÁGUA E ESGOTO, PREDOMINANTE EM MARÍLIA (JULHO/88), É DE CRZ 396,00/LIG X MÊS, ESTA DEVERÁ SER MAJORADA EM 400% PARA COBRIR SOMENTE AS DESPESAS OPERACIONAIS DECORRENTES DO TRATAMENTO DE ESGOTOS POR ELETRÓLISE.
11. O PROCESSO ELETROLÍTICO, NOS MOLDES ATUALMENTE CONCEBIDOS E IMPLANTADOS PARA TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO, TENDE A SER ABANDONADO PELAS MESMAS RAZÕES QUE NO INÍCIO DO SÉCULO O LEVARAM AO DESCRÉDITO NO MEIO TÉCNICO, QUAIS SEJAM:
- , BAIXA EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA, PRINCIPALMENTE A DISSOLVIDA;
 - , BAIXA REPRODUTIVIDADE DOS RESULTADOS, PARA UMA DADA CONDIÇÃO OPERACIONAL;
 - , PRODUÇÃO DE GRANDE QUANTIDADE DE LODO NÃO ESTABILIZADO;
 - , NECESSIDADES DE FREQUENTES PARALIZAÇÕES PARA LIMPEZA; E
 - , ALTO CUSTO OPERACIONAL.

11. RECOMENDAÇÕES.

1. O PROCESSO ELETROLÍTICO, MANTIDA A ATUAL CONCEPÇÃO DE CALHAS E DECANTADORES, NÃO É INDICADO PARA O TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO, TENDO EM VISTA O MENOR RENDIMENTO NA REMOÇÃO DE CARGAS ORGÂNICAS E O SEU ELEVADO CUSTO OPERACIONAL EM RELAÇÃO A OUTROS PROCESSOS CONVENCIONAIS.

2. CASO PERSISTA A OBSTINAÇÃO, ATÉ PASSIONAL, DE ALGUNS PROFISSIONAIS EM ADOTAR O PROCESSO ELETROLÍTICO PARA TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO BRUTO, A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DEVERÁ SER OBRIGATORIAMENTE PRECEDIDA, NO MÍNIMO, DE DUAS CONDIÇÕES BÁSICAS:
 - A) AMPLAS PESQUISAS TECNOLÓGICAS VISANDO MODIFICAÇÕES QUE OTIMIZEM A ATUAL CONFIGURAÇÃO DAS CALHAS E SUA ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE A OUTRAS UNIDADES DE TRATAMENTO.

 - B) DETALHADO ESTUDO ECONÔMICO, ENVOLVENDO A RELAÇÃO CUSTO/BENEFÍCIO EM TERMOS DE CARGA ORGÂNICA REMOVIDA E A ALTA CONCENTRAÇÃO DE FERRO NO EFLUENTE FINAL.

12. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.

01. MAMAKOV, A.A; AVVAKUMOV, M.I, APPL. ELECTR.
PHENOMENAL (TRANSL. FROM ELEKRONNAYA OBRABOTKA MATERIOLOV)
5,357 (1968).
02. MATOV, B.M; FURSOV, S.P; IBID 2,149 (1965)
03. MATOV, B.M ET AL; IBID 5-6, 465 (1965)
04. MATOV, B.M.; IBID (A) 3,220 (1966)
(B) 5,317 (1966)
05. MAMAKOV, A.A; IBID 4,226 (1968)
06. KHARLAN, N.G. ET AL; IBID 5,374 (1969)
07. FAYNSHTEYN, L.B.; MAMOKOV, A.A. IBID (A) 3,50 (1970)
(B) 1,46 (1970)
08. CENKIN, V.E; BELEVTSSEV A.N; EFLUENT AND WATER TREATMENT
JOURNAL, 7,243 (1985)
09. AXENKO, A.A ET AL, UNITED STATES PATENT 4,349,431
SEPTEMBER, 1982
10. EFIMOV, V.T. ET AL; DEMANDE DE BREVE D'INVENTION N°
80 27795 - DECEMBRE 1980.
11. AXENKO, A.A; DEMANDE DE BREVET D'INVENTION N° 80 26526
DECEMBRE 1980
12. FEOFANOV, V.A, DEMANDE DE BREVET D'INVENTION N° 82 16685
OCTOBRE 1982
13. A) HINCLEY, H.V; ENGINEERING NEWS 67,12 (1912) P 532-534
B) IBID P 534-536
14. NEVITT, I.H., ENGINEERING NEWS 71,10 (1914)
15. OLSEN, J.C; METALLURGICAL AND CHEMICAL ENGINEERING 1,
NOVEMBER (1915) P 739-743, 793-797.

16. ENG. NEWS 76, JULY 13 (1916) P.91
17. WELKER, J.E; ENGINEERING NEWS 76, 12 (1916)
SEPTEMBER 21, P 517.
18. SHIELDS, W.S.; ENGINEERING NEWS 76,8 (1916)
AUGUST 24, 1916.
19. ENGINEERING NEWS RECORD 83, 12 (1919)
SEPTEMBER 18, P 541
20. ENGINEERING NEWS RECORD 83, 12 (1919)
SEPTEMBER 18, P 569
21. ALLEN, K; ENGINEERING NEWS RECORD 83, 21 (1919)
P. 1026
22. CRAIG, R.H; ENGINEERING NEWS RECORD 85 (1920)
P.25
23. DE BRITO, S; OBRAS COMPLETAS, VOL. II
IMPRESA NACIONAL (1942)
24. EVANS, J.A; ENGINEERING NEWS RECORD 84
JANUARY 15 (1920) P. 135
25. FULLER; IBID 89, 16, OCTOBER 19
(1922) P 658
26. BASCOM, H.F; IBID 89, 16, OCT.19 (1922) P.659
27. IBID 89, 16, OCT 19 (1922) P.660
28. ENGINEERING NEWS RECORD 90 (1923) P.972
29. ENGINEERING NEWS RECORD 97 (1926) P.422
30. MILLER, H.C.; KNIPE, W; ELETROCHEMICAL TREATMENT OF
MUNICIPAL WASTEWATER, PHS PUBL. N° 999-WP-19
1965, 58pp.
31. EASTON, J.K; JOURNAL WPCF VOL 39 N° 10, PART 1
OCTOBER (1967), P.1621

32. OHIO RIVER VALLEY SANITATION COMMISSION
"METHODS FOR TREATING METAL-FMISHMG WASTES"
CINCINNATI, OHIO (1953)
33. BECK, E.C; GIANNINI, A.P, RAMIREZ, E.R;
FOOD TECHNOLOGY, FEBRUARY (1974) P.18
34. OEHR, K; JOURNAL WPCF, FEBRUARY (1978) P.287
35. SNYDER, D.D; WILLIHNGANZ, R.A; PROCEEDINGS OF THE
INDUSTRIAL WASTE CONFERENCE, PURDUE UNIVERSITY, (1976)
36. MEREDITH, R.E; TOBIAS, C.W; J.ELECTROCHEM, SOC, 108-186
(1961)
37. ROTH, H.P; FERGUSON, P.V; DESALINATION, 23
(1977) P.49-63, ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY
AMSTERDAM
38. SWISS PATENT - 425,655
39. U.S. PATENT N° 3925176 DEC. 9.1975
40. U.S. PATENT N° 3,632,498
41. U.S. PATENT N° 3926753 DEC. 16.1975
- (361). HO, C.C; CHAN, C.Y; THE APPLICATION OF LEAD DIOXIDE-COATED
TITANIUM ANODE IN THE ELECTROFLOTATION OF PALM OIL MILL
EFFLUENT.
WAT.RES. VOL 20 N° 12 (1986) P. 1523-1527
- (362). HO, C.C; CHAN, C.Y; KHOO, K.H, ELECTROCHEMICAL TREATMENT OF
EFFLUENTS: A PRELIMINARY STUDY OF ANODIC OXIDATION OF
SIMPLE SUGARS USING LEAD - DIOXIDE - COATED TITANIUM ANODES.
- (363). CHETTIAR, M; WATKINSON, A.P; ANODIC OXIDATION OF PHENOLICS
FOUND IN COAL CONVERSION EFFLUENTS
CON. J, CHEM.ENG. 61 P.568-574.

- (364). LEWIN, D.C; FORSTER, C.F. PROTEIN RECOVERY FROM DAIRY WASTES BY ELECTROFLOTATION
EFFLUENT AND WATER TREATMENT JOURNAL, MARCH 1974
P.142-148
- (365). BRIT. PAT. APPL. N° 1502/71
- (366). EVANS, B.R. EFFLUENT AND WATER TREATMENT
JOURNAL, FEBRUARY 1974
- (367). MATIS, K.A; A STUDY OF ELECTROLYTIC FLOTATION AND ITS APPLICATION TO THE TREATMENT OF INDUSTRIAL LIQUID WASTES
BRITISH THESIS
- (368). MATIS, K.A.; TREATMENT OF INDUSTRIAL LIQUID WASTES BY ELECTROFLOTATION
WATER POLLUT CONTROL 1980 P,136
- (369). CAMILLERI, C.L; L'ELECTROFLOTATION
CENTRE DE PERFECTIONNEMENT TECHNIQUE
DECEMBRE 1970
- (370). MIQUEL, J; IBID; NOVEMBRE 1977
- (371). NASSAR, M.M; FADALI, O.A. SEDAHMED, G.H
DECOLORIZATION OF PULP MILL BLEACHING EFFLUENTS
BY ELETROCHEMICAL OXIDATION, PULP, PAP CAN
V 84 N 12 DEC. 1983 P,95-98
- (372). TYRINA, L.M. (ACAD. OF SCIENCES OF THE USSR, CHEMISTRY INST. VLADIVOSTOK, USSR); MOROZOV, A.F; SOV. J. WATER CHEM TECHNO V N5 1982 P,80-83
- (373). MASAKUNI, K. WASTERWATER TREATMENT BYELECTROLYSIS IN THE PRESENCE OF CALCIUM FLUORIDE, 28TH INDUSTRIAL WASTE CONFERENCE, PURDUE UNIVERSITY (1969).

- (374). GRIGGER, J.C; MILLER, H.C; LOOMIS, F.D; LEAD DIOXIDE ANODE FOR COMMERCIAL USE, J. ELECTROCHEM. SOC. 105 (1958) p. 100-102
- (375). HAMSOH, H; KUHN, A.T; RANDLE T.H; THE LEAD DIOXIDE ON INERT BASICS ANODE. IN THE ELECTROCHEMISTRY OF LEAD (EDITED BY KUHN A.T), ACADEMIC PRESS, LONDON (1979) PP. 283-308.
- (376). SLAGLE AND ROBERTS; TREATMENT OF SEWAGE AND SEWAGE SLUDGE BY ELECTRODYALYSIS, SEWAGE WORKS JOURNAL, SEPTEMBER (1942)
- (377). U.S. PATENT 4014766, WATANABE ET AL
ELECTROLYTIC TREATMENT OF SEWAGE
MAR. 29,1977.