ÁLVARO JOSÉ CALHEIROS DA COSTA

Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA coagulado com Cloreto de Polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas – Estudo de caso na ETA do município de Mirassol-SP

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Área de concentração: Engenharia Hidráulica e Saneamento
Orientador: Prof. Dr. Valdir Schalch

São Carlos

2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

C837a Costa, Álvaro José Calheiros da
 Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA
coagulado com cloreto de polialumínio (PAC) composto com
areia como agregado miúdo em concreto para recomposição
de calçadas : estudo de caso na ETA do município de
Mirassol-SP / Álvaro José Calheiros da Costa ; orientador
Valdir Schalch. -- São Carlos, 2011.

 Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação e
Área de Concentração em Engenharia Hidráulica e
Sanitária) -- Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, 2011.

 1. Lodo. 2. Lodo de ETA. 3. Agregado miúdo. 4.
Concreto. 5. Calçadas. I. Título.

*Aos meus queridos pais, Álvaro e Sílvia,
meus melhores amigos e exemplos de vida.*

*Às minhas lindas irmãs, Raquel e Paula,
parceiras de toda vida.*

*À minha noiva, Maíra,
amiga e companheira de todas as horas.*

*Aos meus amados familiares, especialmente aos meus avós,
anjos da guarda que me guiam do céu.*

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): Engenheiro Civil **ALVARO JOSÉ CALHEIROS DA COSTA**

Dissertação defendida e julgada em 25/02/2011 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Associado **VALDIR SCHALCH - (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof. Dr. **WELLINGTON CYRO DE ALMEIDA LEITE**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP/campus de Guaratinguetá)

Aprovado

Prof. Dr. **JOÃO SÉRGIO CORDEIRO**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado

Prof. Titular **EDSON CEZAR WENDLAND**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Hidráulica e Saneamento.

Prof. Associado **PAULO CÉSAR LIMA SEGANTINE**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo.

Ao Professor Valdir Schalch pela orientação e, principalmente, pela paciência com que recebeu minhas ligações e escutou minhas mudanças de opinião e direcionamento durante a elaboração do trabalho.

Ao Professor Javier Pablos por ceder o laboratório de construção civil para a realização dos ensaios de concreto.

A todos os professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP.

Ao técnico Júlio Trofino pelo auxílio na execução dos ensaios de lixiviação e solubilização do lodo da ETA.

Aos técnicos Paulo Vieira (Paulão), Paulo Albertini (Tico) e Sérgio Trevelin pelo auxílio e paciência na realização dos ensaios de compressão axial e diametral.

À Josiane, mestranda do curso de Arquitetura, por me auxiliar junto com os técnicos supracitados com os ensaios de concreto.

À Sá, à Pavi e à Rose pelo auxílio durante as minhas idas e vindas ao departamento.

À empresa SANESSOL por permitir a coleta do lodo da ETA que se encontra sob sua administração, especialmente a Jorge Loffi e Sérgio Bovo pela atenção e amizade e aos técnicos Zé e André que muito me ajudaram com as coletas.

Aos amigos que entraram comigo no mestrado: Aline, Eloá, Ludimila, Luis Felipe (Carica), Romualdo, Tiago, Marcelo (Cuiabá) e Gabrielly. E especialmente a turma do NE que ajudou a tornar a estadia em São Carlos mais prazerosa: Francisco das Chagas (Chaguinha), Michael, Daniel (Aracajú) e Rérisson (Rerim) – O NE vai dominar o mundo!

Ao amigo Rafael Marques pela paciência e companheirismo.

À empresa CAB ambiental por permitir que me ausentasse do trabalho para realizar esta conquista.

Aos meus pais e irmãos pela presença, apoio e amor incondicionais.

A minha noiva pelo amor, carinho e paciência com minhas angustias eternas.

Aos demais familiares pelo carinho e pela torcida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	v
LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	7
2.1 Geral	7
2.2 Específicos.....	7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
3.1 Sistemas de abastecimento de água	8
3.2 Legislação	11
3.3 Tecnologias para tratamento de águas para abastecimento.....	18
3.3.1 Tratamento com ciclo completo convencional	20
3.4 O lodo e a água de lavagem dos filtros	24
3.5 Os custos com o gerenciamento do lodo de ETA	27
3.6 Os coagulantes	27
3.7 Tecnologias para desaguamento e/ou desidratação do lodo	28
3.7.1 Centrifugação	29
3.7.2 Filtração forçada.....	30
3.7.2.1 Filtro-prensa.....	31
3.7.2.2 Prensa desaguadora	32
3.7.2.3 Filtro a vácuo	32
3.7.3 Leitos de secagem.....	33
3.7.3.1 Leitos de secagem a vácuo	35
3.7.3.2 Leito de secagem de tela em cunha	36
3.7.4 Lagoas de lodo	37
3.8 Possibilidades de disposição/reaproveitamento do lodo.....	38
3.8.1 A utilização do lodo de ETA desidratado como sub-base para pavimentação	41
3.8.2 Aproveitamento como agregado em Concreto	44

4. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA	46
4.1 Bacia Hidrográfica	46
4.2 Descrição do SAA de Mirassol	50
4.3 Descarte do lodo da ETA Mirassol	57
5. METODOLOGIA	63
5.1 Quantificação do lodo gerado na ETA Mirassol (Estimativa)	63
5.2 Caracterização da água bruta	64
5.3 Coleta das amostras	65
5.4 Secagem da amostra	69
5.5 Utilização da ABNT NBR 10.004/2004: Classificação dos resíduos sólidos	72
5.6 Ensaio de Lixiviação (NBR 10.005)	75
5.7 Ensaio de Solubilização (NBR 10.006)	78
5.8 Determinação da Dosagem de Concreto	78
5.9 Escolha dos ensaios técnicos de concreto e agregado	82
5.9.1 Confecção dos traços e corpos de prova para realização dos ensaios (NBR 5738)	83
5.9.1.1 Obtenção da umidade do lodo	85
5.9.1.2 Obtenção das massas dos materiais para os traços	86
5.9.1.3 Confecção dos traços	87
5.9.1.4 Confecção dos corpos-de-prova	89
5.9.2 Ensaio de Resistência à Compressão Axial (NBR 5739)	95
5.9.3 Ensaio de Tração na compressão diametral (<i>splitting test</i>) (NBR 7222)	98
6. RESULTADOS DISCUSSÕES	105
6.1 Características da Água Bruta	105
6.2 Classificação dos resíduos	106
6.2.1 NBR 10.004/2004, NBR 10.005/2004 e NBR 10.006/2004	106
6.3 Ensaios de Compressão Axial e Compressão Diametral	110
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	117
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
9. ANEXOS	128
9.1 Relatório de análise da AB (Resolução CONAMA 357/2005)	128
9.2 Fichas resultantes dos ensaios de compressão axial e diametral	137

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de leito de secagem a vácuo.....	36
Figura 2: Sistema de leito de secagem de tela em cunha	37
Figura 3: Configuração da UGRHI-15 e localização do município de Mirassol	47
Figura 4: Documento que fornece a dispensa da LP e da LI da ETA Mirassol mediante apresentação de PG dos resíduos	49
Figura 5: Barragem de captação superficial de Mirassol.....	51
Figura 6: Área de acumulação para captação de águas superficiais em Mirassol....	52
Figura 7: Aerador da ETA Mirassol	52
Figura 8: Coagulação com PAC e Mistura rápida (Calha Parshall).....	53
Figura 9: Floculadores hidráulicos (chicanas) da ETA Mirassol	54
Figura 10: Decantador n.º 02 da ETA Mirassol	55
Figura 11: Filtro n.º 01 da ETA Mirassol.....	56
Figura 12: Esquema do SAA de Mirassol (Águas superficiais)	57
Figura 13: Ciclo do lodo da ETA Mirassol	58
Figura 14: Fechamento do registro de entrada de água no decantador n. 01.....	58
Figura 15: Acoplamento da chave ao registro de descarga de fundo	59
Figura 16: Etapa 01 - Início da abertura para a descarga de fundo	60
Figura 17: Etapa 02 - Saída de pequena vazão e grande pressão	60
Figura 18: Etapa 03 - Saída de grande vazão e ainda grande pressão	61
Figura 19: Vazão final de descarga.....	61
Figura 20: Vista da saída do Córrego da Fartura que neste trecho se encontra canalizado	62
Figura 21: Detalhe da formação dos flocos no decantador 01	66
Figura 22: Coleta das amostras de lodo.....	67
Figura 23: Decantador seco após a coleta das amostras de lodo.....	67
Figura 24: Amostra de lodo	68
Figura 25: Materiais utilizados para secagem do lodo	69
Figura 26: Amostra em período de secagem	71
Figura 27: Local escolhido para secagem ao sol das amostras.....	71
Figura 28: Amostra nº 01 após 1 mês de secagem exposta ao sol.....	72
Figura 29: Amostra nº 02 após 1 mês de secagem exposta ao sol.....	72
Figura 30: Fluxograma para a classificação dos resíduos sólidos	74

Figura 31: Amostra preparada para ensaio de lixiviação e solubilização	75
Figura 32: Fluxograma de lixiviação	77
Figura 33: Balança utilizada para pesagem dos componentes dos traços.....	84
Figura 34: Amostra de lodo seca em estufa por 24 horas	86
Figura 35: Traços separados antes do lançamento na betoneira.....	88
Figura 36: Confeção dos traços em betoneira.....	88
Figura 37: Fôrmas separadas para recebimento dos concretos	90
Figura 38: Vibração dos concretos.....	90
Figura 39: Finalização da moldagem dos corpos-de-prova.....	91
Figura 40: Desmolde de corpos-de-prova	92
Figura 41: Desmolde de corpo-de-prova (continuação)	92
Figura 42: Identificação de corpo-de-prova.....	92
Figura 43: Capeamento dos corpos-de-prova que serão submetidos ao ensaio de compressão axial	93
Figura 44: Corpos-de-prova para ensaio brasileiro de tração	94
Figura 45: Corpos-de-prova da compressão axial já capeados	94
Figura 46: Corpos-de-prova na câmara úmida.....	94
Figura 47: Placas que atestam a calibração e revisão da prensa utilizada nos ensaios.....	95
Figura 48: Prensa utilizada nos ensaios de compressão axial e compressão diametral (ensaio brasileiro)	96
Figura 49: Corpos-de-prova divididos entre compressão axial e compressão diametral.....	96
Figura 50: Rompimento de corpo-de-prova em ensaio de compressão axial	97
Figura 51: Registro do valor de força axial necessária para o rompimento de um dos corpos-de-prova	97
Figura 52: Início da montagem do suporte para execução do ensaio	98
Figura 53: Colocação da tira de madeira padronizada na parte superior do corpo de prova	99
Figura 54: Colocação da faixa metálica	99
Figura 55: Colocação do peso metálico	100
Figura 56: Ajuste de posicionamento da prensa	101
Figura 57: Aplicação da força diametralmente	101
Figura 58: Corpo de prova rompido e aberto ao meio.....	102
Figura 59: Registro da força de ruptura no marcador da prensa.....	102

Figura 60: Corpo de prova do traço padrão	103
Figura 61: Corpo de prova L5%	103
Figura 62: Corpo de prova L10%	104
Figura 63: Corpo de prova L20%	104
Figura 64: Observação visual demonstrando variações de coloração	111
Figura 65: Resistências médias à compressão axial.....	114
Figura 66: Resultados de compressão axial em função do teor de lodo adicionado ao concreto aos 28 dias	114
Figura 67: Resultados médios do ensaio de tração	116
Figura 68: Relatório de análise de AB - Página 01.....	128
Figura 69: Relatório de análise de AB - Página 02.....	129
Figura 70: Relatório de análise de AB - Página 03.....	130
Figura 71: Relatório de análise de AB - Página 04.....	131
Figura 72: Relatório de análise de AB - Página 05.....	132
Figura 73: Relatório de análise de AB - Página 06.....	133
Figura 74: Relatório de análise de AB - Página 07.....	134
Figura 75: Relatório de análise de AB - Página 08.....	135
Figura 76: Relatório de análise de AB - Página 09.....	136
Figura 77: Resultados para o traço padrão (s/ lodo)	137
Figura 78: Resultados para o traço com 5% de lodo.....	138
Figura 79: Resultados para traço com 10% de lodo.....	139
Figura 80: Resultados para traço com 20% de lodo.....	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros gerais resumidos do Artigo 34 da Resolução CONAMA 357/2005	15
Tabela 2: Comparação entre as características dos lodos gerados em diferentes ETA	25
Tabela 3: Categorias de uso da água na UGRHI-15.....	46
Tabela 4: Características básicas de saneamento dos municípios componentes da UGRHI-15.....	48
Tabela 5: Quantidade de água adicionada por traço e fator a/c.....	89
Tabela 6: Comparativo dos resultados dos ensaios de metais pesados para o extrato lixiviado do lodo da ETA Mirassol.....	107
Tabela 7: Comparativo dos ensaios de metais pesados para o extrato solubilizado do lodo da ETA Mirassol	107
Tabela 8: Tratamento estatístico dos dados obtidos com o ensaio de compressão axial.....	113
Tabela 9: Comparativo entre as resistências à compressão equivalentes.....	115
Tabela 10: Tratamento estatístico dos dados obtidos com o ensaio de compressão diametral (Tração)	116

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Água Bruta
AAB	Adutora de Água Bruta
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AT	Água Tratada
CPA	Cloreto de Polialumínio = PAC
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo de prova
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EEAB	Estação Elevatória de Água Bruta
EEAT	Estação Elevatória de Água Tratada
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
PVC	Coreto de Polivinil (Policloreto de Vinila)
PTP	Poço Tubular Profundo
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SINMETRO	Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SUASA	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

cm ²	Centímetro quadrado (área)
fck	Coeficiente de resistência à compressão axial
G	Gramma (massa)
g/m ³	Gramma por metro cúbico (concentração)
kg	Quilograma (massa)
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico (concentração)
km	Quilômetro (comprimento)
L	Litro (volume)
L/s	Litros por segundo (vazão)
Mpa	Mega Pascal (Pressão)
mg	Miligramma (massa)
mg/L	Miligramma por litro (concentração)
m	Metro (comprimento)
mm	Milímetro (comprimento)
m ³	Metro cúbico (volume)
N	Newton (força)

RESUMO

COSTA, A. J. C. (2011). **Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA coagulado com Cloreto de Polialumínio composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas - Estudo de caso na ETA do município de Mirassol-SP.** 154 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP.

O presente trabalho foi elaborado com o intuito de equacionar dois problemas: redução do impacto ambiental do lançamento do lodo da ETA Mirassol *in naturas* nos córregos e a redução de custos através da redução na quantidade de lodo enviada para o aterro sanitário e da redução no volume do agregado miúdo o qual, apesar de não representar o maior custo entre os materiais necessários para a confecção do concreto, representa uma redução de custos para a empresa concessionária que precisa recompor diariamente as calçadas que são quebradas para a execução de seus serviços de manutenção nos sistemas de água e esgoto. Devido ao fato de a ETA Mirassol ainda não dispor de um plano de gerenciamento dos resíduos de seu tratamento, como metodologia de secagem das amostras de lodo, optou-se pela simulação de lagoa de lodo fora de escala em que o lodo ficou exposto ao sol durante períodos diferentes de 15 e 30 dias. A primeira amostra, mais seca, foi utilizada nos ensaios de lixiviação e solubilização e a segunda nos ensaios envolvendo o concreto. Foram realizados ensaios de lixiviação e solubilização com o objetivo de classificar o lodo de acordo com a ABNT NBR 10.004/2004 os quais, resultaram em excesso nos teores de cádmio, chumbo e, principalmente, de manganês, cerca de 400 vezes maior que o permitido. Por conta disto, o lodo pôde ser classificado como um resíduo classe II A, ou seja, não perigoso e não inerte. Vale destacar que apesar de coagulado com policloreto de alumínio, o lodo não apresentou teores deste metal que superassem os limites da norma. Voltando a atenção para o concreto de calçada, verificou-se que não existem normas ou padrões que determinem a maneira adequada de executá-lo. Desta forma, optou-se por simular a confecção do concreto realizada no dia-a-dia pelos pedreiros, compreendendo o traço 1:2:3 (cimento:areia:brita) em massa e com o acompanhamento visual da sua trabalhabilidade. A análise de viabilidade da utilização do lodo como agregado foi realizada com base nos ensaios de compressão axial e compressão diametral, também conhecido como ensaio brasileiro (tração). Estes ensaios demonstraram que para os traços que utilizam 5%, 10% e 20% de lodo, foram obtidas resistências à compressão axial superiores à meta de 15 MPa o que foi considerado bastante satisfatório uma vez que são recomendados para calçadas valores de 10MPa. Já para os ensaios de tração, não há referências, mas pôde-se constatar que a utilização do lodo como composto com areia como agregado miúdo interfere sensivelmente nos resultados, sendo recomendada a utilização de porcentagens próximas a 10%. Portanto, concluiu-se que a utilização do lodo da ETA Mirassol em concretos para recomposição de calçadas é viável nas porcentagens até 10%.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de ETA, agregado miúdo, concreto, calçadas

ABSTRACT

COSTA, A. J. C. (2011). **Viability analisys of water treatment plant sludge coagulated with aluminum polychloride used as small aggregate associated with sand in concrete for pavements recomposition - Case of study in Water treatment plant of Mirassol-SP.**154 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP.

This work was done wishing to solve two problems: the reduction of the environmental impact caused by the inappropriate sludge disposal in Mirassol and also the reduction in the costs by reducing the volume of sludge destined to landfill and by reducing the volume of concrete small aggregates which, in spite of not representing the biggest cost of all materials involved, actually represents a cost reduction to the concessionary which needs to remake daily the pavement broke to the execution of maintenance and operation works in the water and wastewater systems. Considering the fact that Mirassol's water treatment plant does not have a sludge management plan, it was chosen the sun exposal method with two different times (15 and 30 days) to dry the samples of sludge. The first sample, the driest, was used in the lixiviation and solubilization experiments and the second one in the experiments involving the concrete. The objective of lixiviation and solubilization experiments was to classify the sludge according to ABNT NBR 10.004/2004. This experiments resulted manganese, plumbean and cadmium excess, especially the manganese with 400 times more concentration than the permitted by the law. So, according to these results, Mirassol's water treatment plant sludgewas classified as Class II A. That's important to observe that, despite the fact that in Mirassol they use the CPA , the sludge did not shown high concentrations of aluminum. Keeping the attention on the concrete to pavements, it was noticed that doesn't exist in Brazil any law to discipline its confection and because of that, it was chosen the empirical method, used by the workers daily with 1:2:3 in mass. The viability analysis of the sludge use as aggregate to concrete pavement was based on the compression and traction experiments which demonstrated that, considering traces with 5%, 10% and 20% of sludge incorporated, the results was satisfactory. In fact, all of the samples had results above the aim for compression (15MPa). On the other hand, considering the traction experiments, there's no references in Brazil for pavements, but it was possible to observe that the sludge addiction affected more this characteristic than the compression. However, the traction results were also satisfactory. Finally, this work recommends the utilization of 10% of sludge incorporated in concrete to pavements because they had the best results considering the compression and traction experiments.

Key-words: Water treatment plant sludge, small aggregates, concrete, pavements

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos principais elementos que compõem o planeta Terra, pois se constitui em algo essencial para a existência da vida. Entretanto, com o crescimento populacional desordenado e com a falta de infra-estrutura que caracteriza os conglomerados urbanos, a quantidade deste bem em qualidade adequada para o consumo humano e para a manutenção da vida na Terra vem diminuindo em ritmo acelerado. Esta deterioração da qualidade das águas gera a necessidade de processos de tratamento cada vez mais sofisticados e, por vezes, a necessidade de se utilizar maiores quantidades de produtos químicos para a transformação das águas brutas (AB) em águas tratadas (AT) e/ou águas potáveis, próprias para o consumo humano.

Segundo Silva (2004), durante muito tempo, com o objetivo de atender às necessidades por água e com a queda da qualidade dos mananciais localizados em áreas próximas àquelas em que viviam nos tempos mais antigos, as populações passaram a captar águas em locais cada vez mais distantes. Com o decorrer do tempo, questões econômicas, ambientais e políticas desencadearam uma mudança no paradigma do trato com a água: a população percebeu que não se trata apenas de buscar água de boa qualidade em locais cada vez mais distantes em clara gestão da oferta da água. Trata-se de reduzir de forma racional a quantidade de água considerada necessária pelas populações para o desenvolvimento de suas atividades de modo que estas águas não sejam comprometidas e de modo que sejam reduzidas as interferências negativas na gestão destas águas. Este novo comportamento denominado de gestão da demanda visa utilizar de maneira mais eficiente a água localmente disponível.

Corroborando com o descrito no parágrafo anterior, Costa *et al* (2008) destacam ser necessário que os profissionais das áreas tecnológicas tenham com clareza em mente que não cabe mais o uso indiscriminado dos recursos hídricos e, portanto, os projetos concebidos devem levar em consideração medidas que permitam a conservação e racionalização do consumo da água, bem como o tratamento e a destinação adequada dos efluentes gerados por suas atividades.

Os conceitos supracitados são ainda mais importantes ao se observar a situação privilegiada em termos de quantidade de água de que dispõe o Brasil quando comparado aos demais países e até regiões do mundo. Ainda de acordo com Costa *et al* (2008 *apud* REBOUÇAS, 1999)¹, o Brasil dispõe de 53% da quantidade todas de águas contidas no continente sul-americano e aproximadamente 12% do total mundial. Por outro lado, é importante destacar que a relação disponibilidade hídrica x densidade demográfica não pode ser considerada das melhores neste país uma vez que os maiores volumes de água se encontram nas áreas menos povoadas. Esta relação fica ainda mais prejudicada quando se constata que as áreas mais populosas, caso do Estado de São Paulo que dispõe apenas de 1,6% das águas superficiais brasileiras, além de disporem de menos quantidade de água ainda dispõem da menor qualidade devido a problemas com a falta saneamento.

Ainda no Brasil, percebe-se a carência por mananciais de boa qualidade em certas regiões, tornando-se cada vez mais importante o uso de técnicas de recuperação para o reaproveitamento da parcela dos resíduos frequentemente lançados nos cursos d'água. Dentre estes resíduos, destacam-se aqueles gerados nas Estações de Tratamento de Água (ETA) que provém, essencialmente, dos decantadores (ou flotadores) e filtros. Dentro deste contexto, considerando que as

¹REBOUÇAS, A. C. **Água doce no mundo e no Brasil**. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (org). **Águas doces no Brasil** – capital ecológico, uso e conservação: São Paulo, Escrituras, 1999

estações de tratamento de água são indústrias transformadoras de água bruta em água potável, seus resíduos devem ser devidamente tratados, pois apresentam substâncias prejudiciais ao meio ambiente e ao homem.

Sabe-se que a prática comum utilizada neste país tem sido o lançamento dos resíduos de ETA diretamente nos cursos d'água mais próximos ou a utilização das redes de águas pluviais para afastamento e posterior lançamento destes resíduos em corpos d'água mais distantes da estação. Ademais, eles apresentam grande potencial de poluição e contaminação devido a sua composição que envolve basicamente as impurezas removidas da água bruta e os compostos químicos relacionados ao tratamento (coagulantes e condicionantes). De acordo com Scalize (2003), dependendo das características da água bruta, é possível ter maior ou menor presença de material orgânico ou inorgânico.

São Paulo é o estado mais populoso do Brasil em consequência de suas oportunidades de trabalho e desenvolvimento econômico. Por conta deste desenvolvimento, o estado conta com maior capacidade de investimento em infraestrutura e o saneamento acaba sendo também contemplado. Seus órgãos mantenedores e fiscalizadores são mais atuantes e tem maiores qualificações técnicas para execução dos trabalhos o que reflete em melhores índices de saneamento. No entanto, apesar de estar mais bem organizado, não faltam exemplos de áreas degradadas e de rios poluídos ou sem condição de aproveitamento pelo homem.

No que diz respeito ao gerenciamento dos resíduos sólidos gerados em ETA, o referido estado possui as melhores e mais diversificadas soluções. Como nele tudo toma grandes proporções, suas estações de tratamento têm capacidade para abastecer grandes populações e, por sua vez, geram grandes quantidades de

resíduos que se não tratados adequadamente, podem vir a prejudicar ainda mais a população e o meio ambiente. Neste sentido, levando-se em consideração a melhor estruturação de seus órgãos públicos, os profissionais envolvidos nesta área sofrem maiores pressões para que trabalhem de forma adequada, efetuando o tratamento e buscando melhores formas de disposição destes resíduos sob pena de pesadas multas. Entretanto, apesar da realidade econômica diferenciada, o Estado de São Paulo ainda reflete a realidade brasileira, isto é, a maioria dos seus municípios não gerencia adequadamente o seus resíduos de tratamento de água.

A cidade de Mirassol, por sua vez, assim como em vários municípios brasileiros, teve o seu saneamento esquecido por muito tempo devido principalmente a fatores políticos. Durante anos a população teve que conviver com faltas d'água, baixa cobertura de coleta de esgotos, ausência de tratamento de esgotos, distribuição de água tratada fora dos padrões de qualidade e sem pressão adequada ao uso. Como consequências desta realidade não existem maiores acompanhamentos por parte de órgãos ambientais municipais no sentido de resolver os problemas pelos quais a cidade passa. Especificamente no que diz respeito ao lodo gerado na ETA Mirassol, nunca houve a menor preocupação com o seu tratamento e correta disposição até o momento em que se deu a concessão dos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário a uma concessionária privada.

Ocorre que quando se buscava a regularização das instalações (em termos de licenças ambientais e documentação geral) que compõem o sistema da cidade junto a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), foi solicitado por este órgão, especificamente para o caso da ETA Mirassol, que fosse apresentado por ocasião da solicitação da licença de operação (LO) um plano de gerenciamento

dos resíduos sólidos gerados na Estação de Tratamento de Água – Lodo da limpeza dos decantadores e dos filtros – no documento em que dava a dispensa da licença prévia (LP) e da licença de implantação (LI).

Osistema de abastecimento de água de Mirassol é composto por uma captação de águas superficiais no rio São José dos Dourados suficiente para abastecer 40% da população e por outras captações de águas subterrâneas por meio de 37 poços profundos responsáveis pelo abastecimento dos outros 60%. A água captada superficialmente segue para a ETA que, por ser relativamente antiga, não dispõe de mecanismos adequados de desaguamento e descarte do lodo gerado durante o processo de tratamento. Até hoje, o lodo que sedimenta nos decantadores e a água de lavagem dos filtros seguem para as galerias de águas pluviais e acabam no Córrego da Fartura in natura.

Em Mirassol, a concessionária privada realiza, em média, 150 reparos por mês em ramais domiciliares de água e esgotos e 120 novas ligações de água e esgotos. De maneira geral, para a realização destas atividades, é necessário que seja quebrada uma parte da calçada do cliente, a qual costuma ser de concreto, para que se escave a vala onde serão implantadas as tubulações para a nova ligação ou para que se tenha livre acesso às tubulações que serão reparadas.

Finalizado o reparo ou a nova ligação, a empresa deve repavimentar o local onde foi realizado o serviço. Para tanto, deverá recompor a calçada com material igual ou superior àquele que foi danificado. Desta forma, acredita-se que o aproveitamento do lodo desidratado da ETA Mirassol composto com areia como agregado miúdo na confecção de concretos para a recomposição dos pavimentos danificados resultará numa boa oportunidade de destinação do resíduo, reduzindo os custos com a disposição em aterros sanitários e melhorando conscientização dos

colaboradores da empresa os quais se tornarão atores diretos de melhoria de qualidade de vida da população.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização do lodo gerado na ETA do município de Mirassol-SP em composição com areia como agregado miúdo para confecção de concreto a ser utilizado para confecção e recomposição de calçadas.

2.2 Específicos

a) Classificar o resíduo gerado na ETA Mirassol com base nas normas NBR 10.004, NBR 10.005, NBR 10.006 e NBR 10.007 da ABNT.

b) Obter estimativa da quantidade de lodo gerada pela ETA Mirassol.

c) Analisar a viabilidade dos concretos confeccionados com o agregado miúdo composto em termos de sua resistência à compressão axial e à compressão diametral.

d) Analisar a viabilidade do reaproveitamento dos resíduos gerados pela ETA Mirassol como agregado para de concreto para confecção e recomposição de calçadas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sistemas de abastecimento de água

No desenvolvimento de qualquer povoamento humano, deve ser considerada, além de educação, saúde e segurança, uma infraestrutura mínima necessária em termos de saneamento básico a qual, de acordo com a Lei Federal 11.445/2007, deve compreender os sistemas de abastecimento de água, os sistemas de esgotamento sanitário, sistemas de coleta e tratamento de resíduos sólidos e sistemas de drenagem de águas pluviais.

Não por acaso o sistema de abastecimento de água foi citado primeiro dentre os componentes do saneamento básico. Ele caracteriza-se como fator limitante do desenvolvimento de qualquer município uma vez que não existe vida sem água e não existe qualidade de vida sem água de qualidade. Desta feita, pode-se dizer que ele se trata do instrumento pelo qual a sociedade é provida de água em quantidade e qualidade suficientes para o seu desenvolvimento adequado.

“Entende-se por sistemas de abastecimento de água o conjunto de equipamentos, obras e serviços voltados para o suprimento de água a comunidades, para fins de consumo doméstico, industrial e público” (GOMES, 2004). Ainda segundo o referido autor, a concepção e o dimensionamento de cada parte do sistema de abastecimento de água ocorre de forma integrada, apesar de cada unidade possuir sua peculiaridade em termos de projeto de engenharia. No dimensionamento de cada componente, o fator econômico o qual leva em conta os custos de investimento e de operação do sistema, exerce um papel fundamental. É importante ressaltar que apesar de concebidos e dimensionados para ocorrer de forma integrada, no Brasil isto não é colocado em prática. Trata-se do paradoxo prática x teoria que tanto prejudica os sistemas de saneamento.

O Ministério da Saúde (1994) diz que, basicamente, existem dois tipos de solução para o abastecimento de água: a coletiva e a individual. A primeira aplica-se prioritariamente às áreas urbanas em que o manancial, a adução (a depender da situação de projeto), o tratamento, a reserva, a distribuição e os custos são divididos entre todos os usuários. A segunda aplica-se também prioritariamente às áreas rurais. Esta distinção não quer dizer que não existam soluções individuais nas áreas urbanas ou soluções coletivas na área rural, mas sim que, prioritariamente, estas soluções são melhor aplicáveis conforme descrito. No caso de Mirassol e da maioria das cidades brasileiras e até no mundo, os sistemas de abastecimento de água são coletivos como forma de viabilizar os investimentos e reduzir os custos.

A captação é a unidade do sistema que retira a água do manancial (superficial ou subterrâneo) em quantidade necessária e suficiente para atender ao consumo dos usuários. Normalmente, esta água é aduzida até uma ETA onde passará pelos processos de tratamento responsáveis por transformá-la numa água tratada para o consumo humano. Gomes (2004) salienta que através do tratamento procede-se à eliminação e/ou redução de impurezas e substâncias que tornam a água inadequada para o uso humano. Complementando, é importante destacar que o tratamento adéqua a água bruta (AB) às características necessárias ao seu uso. Isto quer dizer que para cada finalidade existe um padrão a ser seguido para a água tratada (AT) e, especificamente no caso da água para consumo humano, este padrão é fornecido pela portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, também conhecido como Padrão de potabilidade da água.

Após o tratamento, a água segue por adução ou por gravidade até os reservatórios que a armazenam em quantidade suficiente para garantir o abastecimento da população por um tempo mínimo caso ocorram problemas no

sistema e para situações de incêndio. Dos reservatórios, ela é distribuída para a população através das redes de distribuição que levam a água potável até os ramais de ligação e por fim, até o consumidor final.

De acordo com o Ministério da Saúde (1994), os sistemas de abastecimento de água têm importância sob dois aspectos:

1) Aspecto sanitário:

- Controle e prevenção de doenças;
- Implantação de hábitos higiênicos na população como a lavagem das mãos, banho e limpeza de utensílios;
- Facilitação da limpeza pública;
- Conforto e bem estar para a população.

2) Aspecto econômico:

- Aumento da vida média pela diminuição da mortalidade;
- Aumento da vida produtiva do indivíduo quer pelo aumento da vida média quer pela diminuição do tempo perdido com doença;
- Facilitação da instalação de indústrias, inclusive a de turismo, e consequentemente do progresso das comunidades;
- Facilitação do combate a incêndios.

A necessidade de água requerida ao sistema de abastecimento corresponde à demanda de consumo (incluindo as perdas), para os múltiplos usos, quantificados ao longo do projeto. Basicamente, esta demanda dependerá da estimativa de consumo per capita da população, dos consumos industriais, do combate aos incêndios e dos serviços públicos (geralmente compostos por jardinagem, lavagem de parques, praças e monumentos), levando-se em consideração o aumento da população até o horizonte de projeto. A quantificação da água necessária ao sistema

é extremamente importante para o dimensionamento dos componentes deste. Dentre eles destacam-se as instalações de tratamento que deverão ser dimensionadas para o atendimento desta demanda.

3.2 Legislação

O Brasil ao longo dos últimos anos vem estruturando uma legislação ambiental interessante que aborda temas importantes como o saneamento, a energia e a questão da poluição do meio ambiente. No entanto, ainda não há nenhuma lei que trate especificamente do tema de lodos produzidos em estações de tratamento de água. Mesmo assim, como leis que se apresentam como referência para este trabalho, podem ser citadas:

1) Lei Estadual (SP) N° 118/1973, para efeito de conhecimento, que trata da criação da CETESB e regulamenta a sua atuação.

2) Lei Estadual (SP) N° 997/1976 que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente no Estado de São Paulo e também complementa atribuições da CETESB.

3) Lei Federal N° 9.433/1997 – Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Merecem destaque para o presente trabalho:

- Artigo 1º, inciso II o qual determina que a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- Artigo 2º, Inciso I o qual determina que é objetivo da Política Nacional de Recursos Hídricos assegurar à atual e às gerações futuras a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;

- Artigo 5º, incisos II, III, IV e V os quais determinam que, respectivamente, são instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos o enquadramento dos corpos d'água em classes segundo os seus usos preponderantes, a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos e a compensação aos municípios;
- Artigo 12º, incisos I e III os quais determinam, respectivamente, que estão sujeitos a outorga pelo Poder Público os direitos de usos dos recursos hídricos para derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo d'água para consumo final, inclusive o abastecimento público ou insumo de processo produtivo e o lançamento em corpo d'água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- Artigo 15º, inciso IV o qual determina que a outorga de direito de uso dos recursos hídricos poderá ser suspensa parcial ou totalmente, em definitivo ou temporariamente caso seja necessário prevenir ou reverter grave degradação ambiental.

4) Lei Federal N° 6.938/1998 – Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências. De acordo com esta lei, como a maioria das ETA dispõem seus resíduos nos cursos d'água mais próximos, os gerentes dos sistemas de abastecimento de água podem ser enquadrados como poluidores de acordo com o Artigo 3º, incisos I, II, III, IV e V e alíneas a), b), c), d) e e).

5) Lei Federal N° 9.605/1998 – Também conhecida como Lei de Crimes Ambientais – Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências, merecendo destaque para este trabalho os seguintes trechos:

- Artigo 2º o qual determina que quem, de qualquer forma, concorre para a prática de crimes previstos nesta lei, incide nas penas a estes cominadas, na medida da sua culpabilidade, bem como o diretor, o administrador, o membro do conselho e de órgão técnico, o auditor, o gerente, o preposto ou mandatário de pessoa jurídica, que sabendo da conduta criminosa de outrem, deixar de impedir a sua prática quando podia agir para evitá-la;
- Artigo 3º o qual define que as pessoas jurídicas serão responsabilizadas administrativa, civil e penalmente conforme disposto nesta lei, nos casos em que a infração seja cometida por decisão de seu representante legal ou contratual, ou de seu colegiado, no interesse ou benefício de sua entidade. Ele determina ainda que a responsabilidade das pessoas jurídicas não exclui a das pessoas físicas, autoras, coautoras ou partícipes do mesmo fato;
- Artigo 15º que define as situações em que as penas serão agravadas;
- Artigo 33º - Determina que estará sujeito a pena de detenção de 1 a 3 anos ou multa ou ainda ambas, aquele que provocar, pela emissão de efluentes ou carreamento de materiais, o perecimento de espécimes da fauna aquática existentes em rios, lagos, açudes, lagoas, baías ou águas jurisdicionais brasileiras;

- Artigo 54º - Determina que estará sujeito a pena de reclusão de 1 a 4 anos e multa aquele que causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos a saúde humana ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora. Inciso V – Se o crime ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos a pena será de reclusão, de 1 a 5 anos.

6) Para efeito de conhecimento, Resolução 12/2000 do CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos) que dispõe sobre procedimentos gerais para enquadramento dos corpos d'água superficiais e subterrâneos e dá outras providências.

7) Portaria N° 518/2004 do Ministério da Saúde que trata dos padrões de potabilidade da água.

8) Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) 357/2005 – Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Os padrões de qualidade das águas determinados nesta resolução estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe. Merece destaque nesta resolução o Capítulo IV que trata das condições e padrões de lançamento de efluentes e em especial:

- Artigo 24º o qual determina que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente nos corpos d'água após o devido tratamento e desde que obedeçam às

condições, padrões e exigências dispostos nesta resolução e em demais normas aplicáveis;

- Artigo 29º - Determina que a disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não poderá causar poluição ou contaminação das águas;
- Artigo 34º - Define que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente nos corpos receptores desde que obedeçam às condições e padrões previstos neste artigo. Foi elaborada a Tabela 01 com o resumo das condições de lançamento gerais para os efluentes descritas no parágrafo 4 deste artigo.

Tabela 1 - Parâmetros gerais resumidos do Artigo 34 da Resolução CONAMA 357/2005

PARÂMETROS	LIMITES
Ph	Entre 5,0 e 9,0
Temperatura	Inferior a 40°C e $\Delta T < 3^\circ\text{C}$
Materiais Sedimentáveis	Até 1mL/L em 1h de Cone Imhoff. Em lagos e lagoas, devem estar virtualmente ausentes
Vazão	Máxima de até 1,5xQ média do período de atividade diária do agente poluidor
Óleos minerais	Até 20mg/L
Óleos vegetais e Gorduras animais	Até 50mg/L
Materiais Flutuantes	Virtualmente ausentes

9) Lei Estadual (SP) N° 12.183/2005 que dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo, os procedimentos para a fixação de seus limites, condicionantes e valores.

10) Lei Federal N° 11.445/2007 – Também conhecida como Lei do Saneamento – Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Fazem-se importantes para o presente trabalho os seguintes trechos desta Lei:

- Artigo 4º, parágrafo único o qual determina que a utilização dos recursos hídricos na prestação de serviços públicos de saneamento básico, inclusive para disposição ou diluição de esgotos e outros resíduos é sujeita a outorga de direito de uso nos termos da Lei 9.433/1997, de seus regulamentos e das legislações estaduais;
- Artigo 5º o qual determina que não constitui serviço público a ação de saneamento executada por meio de soluções individuais desde que o usuário não dependa de terceiros para operar os serviços, bem como as ações e serviços de saneamento básico de responsabilidade privada, incluindo o manejo de resíduos de responsabilidade do gerador;
- Artigo 43º o qual determina que a prestação dos serviços públicos de saneamento atenderá aos requisitos mínimos de qualidade, incluindo regularidade, continuidade e aqueles relativos aos produtos oferecidos, ao atendimento ao usuário e às condições operacionais e de manutenção dos sistemas de acordo com as normas regulamentares e contratuais;
- Artigo 48º, inciso X o qual determina que a União, no estabelecimento de sua Política de Saneamento Básico observará a diretriz de que a bacia hidrográfica é adotada como unidade de referência para o planejamento de suas ações;
- Artigo 49º, inciso X o qual determina que é objetivo da Política Nacional de Saneamento Básico minimizar os impactos ambientais relacionados à implantação e desenvolvimento das ações, obras e serviços de saneamento básico e assegurar que sejam executadas de

acordo com as normas relativas à proteção do meio ambiente, ao uso e ocupação do solo e à saúde.

11) Lei Federal Nº 12.305/2010 – Instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos cujos seguintes temas são relevantes para o presente trabalho:

- Artigo 2º: Aplicam-se aos resíduos sólidos, além da referida Lei, as leis 11.445 de 5 de janeiro de 2007; 9.974 de 6 de junho de 2000 e 9.966 de 22 de abril de 2000 e as normas estabelecidas pelo SISNAMA, pelo SNVS, pelo SUASA e pelo SINMETRO.
- Artigo 3º, incisos VII e IX: Destinação ambientalmente adequada é aquela que envolve a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação, o aproveitamento energético e a disposição em aterros sanitários observando-se as normas específicas para evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança.
- Artigo 4º: A Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.
- O artigo 7º, determina os objetivos da referida política nacional, dentre os quais merecem destaque: proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; a não geração, redução, reutilização, reciclagem, e tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;

- Um conceito importante trazido por esta Lei diz respeito à gestão integrada dos resíduos sólidos, permitindo que vários municípios se unam em consórcio com o objetivo de gerir adequadamente seus resíduos sólidos.

3.3 Tecnologias para tratamento de águas para abastecimento

Considerando que as águas subterrâneas constituem-se em reservas naturais para o abastecimento das populações futuras devendo ser utilizadas somente quando não for possível o aproveitamento de águas superficiais e considerando ainda que o tratamento destas águas subterrâneas ocorre de maneira simplificada, envolvendo apenas as etapas de desinfecção e fluoretação, as estações de tratamento de água são partes fundamentais dos sistemas de abastecimento de água quando se utilizam os mananciais de superfície.

Segundo Valência (2000), a água em sua forma molecular pura não existe na natureza, porquanto contém substâncias que podem estar em suspensão ou solução verdadeira segundo o tamanho e a desagregação do material que é carregado. Por outro lado, de acordo com o tipo de impurezas presentes, a água pode aparecer como turva ou colorida ou ainda ambas. A turbidez, que representa a capacidade de um líquido de disseminar a luz que passa por ela, normalmente é devida a partículas de argila proveniente da erosão do solo, a algas ou a cepas bacterianas. Por sua vez, a cor é constituída por substâncias químicas, na maioria das vezes, provenientes da degradação de matéria orgânica (folhas ou plantas).

Ainda de acordo com o supracitado autor, o conhecimento da natureza e características dos contaminantes é básico para entender os processos de remoção

a serem utilizados. De modo geral, as tecnologias para o tratamento de água para abastecimento humano dividem-se em dois grupos:

1) Tecnologias usuais

São as técnicas mais utilizadas no tratamento de água levando-se em consideração as impurezas mais comumente encontradas na água bruta. Por sua vez, dividem-se em dois grupos:

a. Aquelas que utilizam a coagulação química

Estas tecnologias se aproveitam das propriedades de alguns compostos químicos para efetuar a coagulação das impurezas presentes na água bruta de maneira que elas possam ser removidas posteriormente por decantação/flotação e filtração. Como exemplos podem ser citados o tratamento com ciclo completo (também conhecido como tratamento convencional), a filtração direta ascendente, a filtração direta descendente, o tratamento com ciclo completo com a decantação substituída pela flotação, entre outros.

b. Tecnologias que prescindem da coagulação química

São aquelas que não necessitam dos coagulantes químicos para facilitar a remoção das impurezas constantes na água bruta (AB). São empregadas, normalmente, para AB com boa qualidade inicial que necessita apenas de um polimento para que seja efetuada a sua adequação aos padrões de potabilidade. Como exemplo desta tecnologia pode ser citada a filtração lenta que ocorre por diversos sistemas.

2) Técnicas avançadas e métodos para remoção de contaminantes específicos

São aquelas utilizadas para a remoção de contaminantes específicos de determinadas águas brutas. Seu uso não é tão frequente como as técnicas citadas

anteriormente e demanda maiores complexidades operacionais assim como maiores custos. Como exemplos destas técnicas podem ser destacados a desmineralização de águas com alto teor de sais dissolvidos através de eletrodialise ou osmose reversa e a remoção de contaminantes específicos através de adsorção, trocas iônicas e etc.

Um fator que merece ser salientado é o fato de que não importa a tecnologia a ser utilizada para tratar a água bruta nem a finalidade para a qual a água bruta está sendo tratada. Todas as tecnologias existentes têm como produto final a água tratada (características adequadas ao padrão definido para o seu uso) e os resíduos formados pelas impurezas removidas e pelo coagulante, mais conhecidos como lodo de ETA.

3.3.1 Tratamento com ciclo completo convencional

Segundo Cordeiro (1999), o tratamento com ciclo completo convencional envolve o método de tratamento de água mais difundido no mundo porque se adapta a maior parte das águas brutas uma vez que é capaz de remover a maior parte das impurezas comumente presentes nestas.

De maneira geral, ele pode ser dividido nas seguintes etapas:

1) Pré-tratamento

Esta etapa envolve a remoção preliminar de materiais grosseiros como areia, pedaços de madeira, folhas, etc. Como, normalmente, a captação de água bruta se dá em locais onde não há muito fluxo ou turbulência, não ocorre com frequência a presença de areia. Em ocorrendo, o simples fato de reduzir a velocidade da água para permitir a sedimentação das partículas grosseiras é capaz de efetuar sua remoção. Nesta fase, também podem ser removidos alguns componentes químicos

como o ferro e o manganês solúveis pela aeração uma vez que em contato com o oxigênio atmosférico, o ferro passa de sua forma bivalente para a trivalente e precipita. Nela também podem ser aplicados produtos químicos para remoção de impurezas específicas, pode ser realizada uma pré-desinfecção ou ainda pode ser realizado o condicionamento do pH para possibilitar o melhor desempenho do coagulante. Tudo depende exclusivamente da qualidade da água bruta a ser tratada.

2) Coagulação

Valência (2000) define como coagulação em tratamento de água o processo pelo qual as partículas se aglutinam em pequenas massas com peso específico superior ao da água chamadas de flocos. Este processo é utilizado para:

- Remoção da turbidez orgânica ou inorgânica que não pode sedimentar rapidamente.
- Remoção de cor verdadeira e aparente (aquela que possui parcela de turbidez).
- Eliminação de bactérias, vírus e organismos patogênicos susceptíveis à separação por coagulação.
- Destruição de alguns tipos de algas e/ou plâncton.
- Eliminação de substâncias produtoras de sabor e odor em alguns casos e de precipitados químicos suspensos ou compostos orgânicos entre outros.

O uso de qualquer outro processo como a sedimentação simples para a remoção de partículas muito finas é considerado antieconômico ou até impossível. A coagulação se inicia logo após a adição do coagulante à água e dura somente frações de segundo. Basicamente, consiste em uma série de reações físicas e

químicas entre os coagulantes, a superfície das partículas, a alcalinidade da água e a própria água.

Três processos podem acontecer durante a coagulação: (a) adsorção-desestabilização baseado nas forças eletrostáticas de atração e repulsão. (b) a ponte química que estabelece uma relação de dependência entre as forças químicas e a superfícies dos colóides e (c) a supersaturação de coagulantes na água (VALÊNCIA, 2000).

3) Floculação

É o fenômeno pelo qual as partículas já estabilizadas pela coagulação chocam-se umas com as outras para formar coágulos ou flocos (daí o seu nome) maiores. Trata-se de um processo pelo qual as partículas são transportadas dentro do líquido para que façam contato de maneira que sejam estabelecidas pontes entre si e para que sejam formadas malhas tridimensionais de coágulos porosos.

A floculação ocorre por dois fenômenos: a indução de forças externas (mecânicas ou hidráulicas) e pelo movimento browniano. A princípio, para que se dê a melhor ação do coagulante, deve ser provida uma grande agitação da água chamada de fase de mistura rápida. Após esta etapa, para que a formação dos flocos ocorra de maneira adequada a velocidade da água deverá otimizada não sendo nem tão lenta de modo que não sejam formados os flocos nem tão rápida de modo que os flocos se choquem com força e sejam quebrados.

4) Sedimentação

Esta etapa consiste na separação sólido-líquido pela ação da força de gravidade sobre os sólidos suspensos de uma suspensão. As unidades de sedimentação são instaladas à jusante das unidades de coagulação e floculação com o objetivo de reduzir a carga de sólidos aplicada nas unidades de filtração

subsequentes. Esta etapa pode ser dispensada caso a qualidade da água bruta permita uma filtração direta. Para determinados tipos de água bruta, como aquelas que contêm elevado teor de algas em suspensão ou com cor elevada e baixa turbidez, a sedimentação pode ser substituída pela flotação por ar dissolvido.

5) Filtração

Uma vez removidas as impurezas por sedimentação, a água segue para a etapa da filtração cujo objetivo principal é separar as partículas e microrganismos não retidos na etapa anterior. Em consequência disso, seu desempenho depende diretamente do desempenho das etapas anteriores. Ela pode acontecer por diversas formas, sendo a mais comum aquela em que a água passa de modo descendente por camadas de diferentes granulometrias sendo que a passagem se inicia pelas maiores e termina pelas menores granulometrias. As partículas vão sendo retidas até o momento em que a água filtrada não dispõe das características adequadas e/ou ocorre aumento excessivo na perda de carga. Neste momento é necessária a limpeza dos filtros através, normalmente, de retrolavagem. A água suja resultante desta limpeza dos filtros é uma das geradoras do lodo de ETA devendo ser somada ao lodo descartado pelos decantadores e o produto desta adição equalizado e/ou adensado. A água que resultar da equalização/adensamento deverá retornar ao processo de tratamento para que possa ser reaproveitada e o lodo resultante deverá ser desaguado, condicionado (somente se necessário) e também reaproveitado em outras funções.

6) Desinfecção e Fluoretação

De acordo com a portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, depois de removidas as impurezas pelo processo convencional, a água deve ser desinfetada, usualmente com a utilização de cloro em suas diversas formas e fluoretada com o

objetivo de prevenir problemas dentários principalmente em crianças. Pode ser necessária também uma etapa de pós-condicionamento em que o pH da água deverá ser corrigido para valores próximos aos neutros com o objetivo de evitar problemas de corrosão (águas ácidas, isto é, baixos valores de pH) e incrustações (águas alcalinas, ou seja, altos valores de pH).

3.4 O lodo e a água de lavagem dos filtros

O lodo nada mais é do que o resíduo resultante do processo de coagulação da água encontrado em maiores quantidades nos decantadores e/ou flotadores somado ao resíduo resultante da lavagem dos filtros. Os resíduos gerados nos decantadores podem ficar retidos durante vários dias e até meses ou podem ser removidos mecanicamente de forma contínua. Como prática comum Brasil afora, estes materiais são lançados no ambiente, normalmente em cursos d'água próximos às estações, o que vai de encontro à legislação vigente devido às alterações que podem impor nas características deste corpo receptor.

De acordo com a NBR 10.004/2004, os lodos gerados nas ETA são enquadrados como “resíduos sólidos”, devendo, por conta disto, ser tratados e dispostos dentro dos critérios estabelecidos por esta norma e pelas demais que compõem o seu conjunto: NBR 10.005/2004, NBR 10.006/2004 e NBR 10.007/2004. Os resíduos gerados nas ETA têm características bastante distintas e frequências de descargas com diferentes intervalos o que influencia sensivelmente o seu processo de desidratação e conseqüentemente a sua destinação final.

Segundo Cordeiro (1999) os lodos gerados nos decantadores das ETA podem ter suas características bastante variadas dependendo fundamentalmente das condições apresentadas pela água bruta, produtos químicos utilizados e suas

dosagens, forma de limpeza dos decantadores entre outros. Na Tabela 02, estão sendo comparados alguns parâmetros onde pode ser vista a grande variação entre as principais características do lodo de ETA pesquisadas durante vários períodos de tempo e em várias localidades do planeta. Isto demonstra a necessidade de equalizar o problema de forma individualizada.

Tabela 2 - Comparação entre as características dos lodos gerados em diferentes ETA

Autor/Ano	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	pH	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SS %ST
Neubauer (1968)	30 a 150	500 a 15.000	6,0 a 7,6	1.100 a 16.000	20% a 30%	–
Sutherland (1969)	100 a 232	669 a 1.100	7,0	4.300 a 14.000	25%	80%
Bugg (1970)	380	1.162 a 15.800	6,5 a 6,7	4.380 a 28.580	20%	–
Albrecht (1972)	30 a 100	500 a 10.000	5,0 a 7,0	3.000 a 15.000	20%	75%
Culp (1974)	40 a 150	340 a 5.000	7,0	–	–	–
Nilsen (1974)	100	2.300	–	10.000	30%	–
Singer (1974)	30 a 300	30 a 5.000	–	–	–	–
Cordeiro (1981)	320	5.150	6,5	81.575	20,7%	–
Vidal (1990)	449	3.487	6,0 a 7,4	21.972	15%	–
Vidal (1990)	173	1.776	6,7 a 7,1	6.300	73%	–
Cordeiro (1993)	–	5.600	6,4	30.275	26,3%	–
Patrizee (1998)	–	–	5,55	6.112	19%	–
Patrizee (1998)	–	–	6,8	6.281	–	–

FONTE: Cordeiro (1999 apud CORDEIRO, 1993)²

Os maiores problemas encontrados no gerenciamento dos resíduos sólidos gerados em ETA dizem respeito à falta de conhecimento sobre as características não tradicionais dos sólidos presentes no lodo. Pesquisas indicam ainda que existem grandes diferenças entre os resíduos gerados nas ETA o que destaca a necessidade de se solucionar os problemas de forma pontual e individualizada.

² CORDEIRO, J. S. (2003) **O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos-SP.

Uma das maiores preocupações existentes relacionadas à operação de ETA tem sido compatibilizar a melhoria dos processos de coagulação com a minimização da geração dos resíduos oriundos da precipitação dos sais metálicos (FERREIRA FILHO e WAELKENS, 2009).

Em seu trabalho, Cordeiro (1999) destaca que a lavagem dos filtros de ETA pode ser realizada de diversas maneiras gerando-se maior ou menor volume de resíduos líquidos. O tipo de coagulante empregado no tratamento tem influência direta na qualidade dos resíduos gerados durante a lavagem dos filtros uma vez que a duração de carreiras de filtração poderão ser mais duradouras ou mais breves. Em comparação com o lodo gerado nos decantadores, este resíduo é composto por materiais bem mais finos e particulados, além de estarem muito mais hidratados. Por conta disso, é mais difícil de remover esta água presente e é recomendável a recirculação da água para o início do processo novamente.

Por razões técnicas e ambientais, os resíduos líquidos gerados nas ETA devem ser adequadamente tratados, sendo necessário o conhecimento de sua composição, processos ou operações para a redução de volume e das alternativas de disposição final do lodo (DI BERNARDO, SCALIZE e SOUZA FILHO, 1999). Ainda de acordo com Di Bernardo, Scalize e Souza Filho (1999), uma alternativa que pode ser estudada para ETA de ciclo completo é a de coletar, homogeneizar e recircular a água de lavagem dos filtros para o início da ETA de modo a permitir que sejam tratados apenas os resíduos provenientes dos decantadores.

No que diz respeito ao condicionamento e ao adensamento dos resíduos líquidos, sabendo-se que apresentam baixas concentrações de sólidos totais (geralmente da ordem de 100 a 500mg/L), podem ser realizados diversos métodos e em diversas fases. Normalmente, ocorre antes da desidratação mecânica. Segundo

Di Bernardo, Scalize e Souza Filho, são vários os fatores que dificultam a remoção de água do lodo. As partículas de lodo são carregadas eletricamente e tendem a se repelir em vez de formar flocos. Devido a hidratação, as partículas podem formar uma película líquida carregada negativamente que impede a aproximação das mesmas para que sejam aglutinadas. Para facilitar a separação entre as fases sólida e líquida, recomenda-se a utilização de polímeros cujo tipo depende do pH do resíduo (para $\text{pH} < 7,0$, recomenda-se polímero catiônico; para $6,5 < \text{pH} < 8,5$, recomenda-se polímero não iônico e para $\text{pH} > 8,5$, recomenda-se polímero aniônico).

3.5 Os custos com o gerenciamento do lodo de ETA

De acordo com os estudos de Januário e Ferreira Filho (2007), os custos para o transporte e disposição final de lodos de ETA em regiões metropolitanas têm se situado em torno de R\$ 100,00 a R\$ 500,00 por cada tonelada. Estes números justificam os esforços para redução da geração do lodo bem como de seus custos para disposição adequada, mesmo sabendo que cada caso é um caso. Os referidos valores dependem basicamente de fatores como a maneira como se está dispondo os resíduos e da distância para o ponto de disposição. Segundo Roth (2008), os custos para implantação de sistemas de tratamento de lodo em estações de tratamento de água podem variar de 30 a 40% do custo total de implantação do sistema de tratamento.

3.6 Os coagulantes

A coagulação consiste nas reações de hidrólise que ocorrem quando é adicionado um coagulante na água. Estes compostos químicos têm a propriedade

de reagir com as impurezas contidas na água bruta fazendo com que sejam precipitadas. No entendimento de Ferreira Filho e Waelkens (2009), os sistemas de tratamento convencionais de água de abastecimento empregam sais inorgânicos e metálicos de alumínio e ferro como coagulantes, sendo que os mais comuns no mercado são o sulfato de alumínio, o sulfato férrico e o cloreto férrico.

Segundo Barbosa, Mendes e Baylão (2003), a aplicação de coagulantes poliméricos orgânicos e inorgânicos vem sendo pesquisadas nos últimos anos em substituição aos coagulantes inorgânicos mais comumente empregados. Um exemplo destes polímeros é o tipo cloreto de Polialumínio. Estes coagulantes apresentam várias vantagens em relação aos coagulantes químicos por serem biodegradáveis, não tóxicos e ainda produzirem menores quantidades de lodo, além de lodos com menores quantidades de metais (KAWAMURA, 1991).

3.7 Tecnologias para desaguamento e/ou desidratação do lodo

A escolha da tecnologia e dos equipamentos a serem utilizados para realização do desaguamento dos lodos de ETA depende, basicamente, das características qualitativas e quantitativas do lodo e das condições climáticas da região onde está localizada a estação de tratamento (JACOMASSI, 2009).

De acordo com Grandin (1992), o desaguamento do lodo de ETA consiste numa operação física, mecânica ou natural executada com o objetivo de reduzir o teor de umidade e volume e, conseqüentemente, dos custos com transportes. Segundo Patrizzi (1998), os métodos usados para desaguamento do lodo podem ser classificados em: (1) Naturais: Leitos de secagem e lagoas de lodo; (2) Mecânicos: Filtros de maneira geral e centrífugas; (3) Métodos pouco usuais (baseados na variação de temperatura): Congelamento e incineração.

3.7.1 Centrifugação

A centrifugação é um processo de separação de fases que se aproveita, como seu próprio nome já diz, da força centrífuga gerada pela rotação de um recipiente cilíndrico. Trata-se de um processo bastante difundido para a separação de materiais nas indústrias e pode ser também utilizado com eficiência para o desaguamento do lodo tanto de ETA quanto de ETE.

Apesar de se tratar de um bom método para desaguamento, é importante que seja destacado que os resultados dependem diretamente da rotação adequada do equipamento. Se a rotação não ocorre com velocidade suficiente, não haverá separação e se ocorrer com velocidade exagerada, pode acontecer a quebra dos flocos de lodo.

Para melhorar a eficiência da desidratação proporcionada pela centrífuga, podem ser utilizados polímeros aniônicos ou catiônicos capazes de melhorar a capacidade de agregação dos sólidos, separando-os da parte líquida do lodo. Segundo Reali, Patrizzi e Cordeiro (1999), de maneira geral, quanto maior a turbidez da água bruta, maior o teor de sólidos e mais facilmente pode ser removida a água presente no lodo. Este autor destaca ainda que resultados melhores podem ser obtidos com a realização da etapa de espessamento antecedendo a centrifugação. Após o espessamento, lodos com concentrações de 10 a 25% de sólidos são encaminhados para as centrífugas que podem produzir tortas com teores de sólidos entre 55 e 60%.

Na operação das centrífugas, a velocidade com que as partículas atingem as paredes é influenciada sobremaneira pelo seu tamanho. Quanto maiores forem, mais rapidamente serão capturadas e removidas. Para que as partículas atinjam

grandes dimensões são utilizados os polímeros que efetuam o condicionamento do lodo.

O procedimento destacado acima é utilizado no Sistema Produtor do Alto Tiete onde a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) desenvolve uma PPP (Parceria Público-Privada) para realização de investimentos para ampliação da vazão e operação conjunta do sistema e da ETA Taiaçupeba a qual é responsável pelo abastecimento de uma população aproximada de 3,5 milhões de pessoas. Para tanto, a ETA trata uma vazão de $10\text{m}^3/\text{s}$ e tem sua capacidade sendo aumentada para $15\text{m}^3/\text{s}$ através das obras em execução. Uma vazão desse porte gera uma quantidade elevada de lodo que está sendo tratado com a tecnologia de espessamento e centrifugação. Fontes informais declaram que estão sendo obtidos teores de sólidos na torta de até 60%.

De acordo com Reali, Patrizzi e Cordeiro (1999), existem quatro parâmetros técnicos principais para a operação de centrífugas: (1) Grau de clarificação do líquido centrifugado; (2) Capacidade de processamento e potência da centrífuga; (3) Grau de hidratação da torta produzida e (4) Dosagem requerida de condicionantes químicos.

3.7.2 Filtração forçada

Os sistemas de filtração forçada se enquadram dentro do grupo de tecnologias mecânicas as quais, diferente das tecnologias naturais, dependem de energia para o seu funcionamento e possuem operação e manutenção mais apuradas. Como exemplos de tecnologias mecânicas podem ser citados o filtro-prensa, o filtro a vácuo, a prensa desaguadora e as centrífugas já abordadas no tópico anterior. Além da maior complexidade, os custos necessários para a sua

manutenção e operação, como ressaltado por Cordeiro (1999), são mais elevados. Por outro lado, em comparação com outras tecnologias, estes métodos mecânicos demandam menores áreas para a sua instalação.

3.7.2.1 Filtro-prensa

Trata-se de um sistema cuja operação não é difícil de compreender. O lodo é introduzido em câmaras envoltas por mantas filtrantes que, por meio de pressões diferenciais, são comprimidas fazendo com que o filtrado seja removido através das mantas e fazendo com que permaneça em seu interior apenas uma mistura com altos teores de sólidos (torta). Desta forma, fica evidente que a sua operação envolve duas fases: (1) Aplicação de pressão e (2) Filtração da água contida na massa pelas membranas filtrantes. Existem, basicamente, três tipos de filtros prensa: (a) Filtro-prensa de placas, (b) Filtro-prensa de correia ou de esteira e (c) Filtro-prensa de diafragma.

Seu sistema típico, segundo Cordeiro (1999), inclui:

- Sistema de recebimento e armazenamento de lodo;
- Sistema de transferência de lodo;
- Sistema de preparo e dosagem de produtos químicos;
- Sistema de condicionamento do lodo;
- Sistema de alimentação do filtro-prensa;
- Sistema de filtração e compressão do lodo;
- Sistema de transporte da torta;
- Sistema de lavagem dos tecidos.

3.7.2.2 Prensa desaguadora

A prensa desaguadora nada mais é do que um tipo de filtro-prensa também conhecido como filtro-prensa de correia ou *belt-press*. Ele difere do tipo citado no item anterior pelo fato de que o lodo é introduzido entre duas correias em que uma delas representa o meio filtrante. Os roletes das esteiras ou correias fazem com que ocorra a compressão de uma esteira sobre a outra provocando a drenagem do líquido.

Sua operação envolve três etapas básicas: (1) Condicionamento do lodo afluente; (2) Drenagem gravitacional e (3) Compactação do lodo por meio de forças de compressão entre as esteiras. Em comparação com os métodos já apresentados, a prensa desaguadora apresenta maior simplicidade de operação e manutenção, baixo consumo de água e alta taxa de captura de sólidos (CORDEIRO, 1999).

3.7.2.3 Filtro a vácuo

Consistem em tambores de eixo horizontal suspensos e revestidos em com tela filtrante que giram em recipientes de lodo. A superfície dos tambores é dividida em setores que servem de suporte para o meio filtrante. Aplica-se então uma pressão negativa em cada setor por meio de tubos internos fazendo com que a água seja drenada para o tambor. Os sólidos são depositados sobre a manta e removidos por raspadores para fora do sistema.

Suas dimensões variam de 1,0 a 3,6m de diâmetro e de 0,9 a 6,0m de comprimento e sua instalação inclui:

- Bombas para vácuo;
- Entradas para produtos químicos;
- O próprio filtro a vácuo;

- Tanque para recuperação;
- Bomba para o filtrado;
- Correia para transporte de massa;
- Receptor de massa.

3.7.3 Leitos de secagem

Abordadas as tecnologias mecânicas para a realização do desaguamento do proveniente de estações de tratamento de água, é importante complementar o conhecimento com as tecnologias baseadas em princípios naturais. Uma das mais utilizadas e mais eficientes é a tecnologia dos leitos de secagem. Há ainda estudos que, também segundo Cordeiro (1999), determinam um método adaptado do leito de secagem: o leito de drenagem. Segundo ele, este método possui resultados ainda mais expressivo que o original, reduzindo o tempo de exposição ao sol para 4 a 5 dias.

Em regiões onde as condições climáticas são favoráveis e onde há disponibilidade de áreas, segundo Cordeiro (1999), a implantação de leitos de secagem pode reduzir sensivelmente os impactos ambientais, diminuindo o volume dos despejos, possibilitando o reuso da água livre e minimizando as perdas. Neste método podem ser identificados alguns interferentes importantes que caracterizam a influência das condições climáticas: a chuva (quando o leito é descoberto) e o calor que proporciona evaporação por meio de radiação e convecção. De fato, a desidratação é afetada por vários parâmetros como: temperatura, umidade do ar, viscosidade do lodo, incidência de chuvas e ventilação.

Os leitos de secagem constituem-se em tanques rasos com duas ou três camadas de areias com diferentes granulometrias e cerca de 30cm de espessura.

Seu sistema completo é composto pela camada suporte, pelo meio filtrante e pelo sistema drenante.

Sua camada suporte possui espessura média de 0,3m de areia com tamanho efetivo entre 0,3 e 0,5mm. O coeficiente de não-uniformidade desta areia não deve ultrapassar o valor de 5,0. Já o meio filtrante é constituído por britas graduadas com ¼" a 1/8" de diâmetro médio e valores entre 0,15 e 0,3m de espessura. Por sua vez, o sistema drenante é constituído por tubos perfurados de 150 a 200mm de diâmetro. O fundo do leito de secagem poderá ser construído com o próprio solo do terreno ou com uma camada de concreto simples.

Sua operação consiste no lançamento do lodo no tanque devendo ser espalhado em camadas de 20 a 30cm de espessura. Uma vez seca a primeira camada, o lodo deverá ser removido e o lançamento de uma nova camada só poderá ser realizado quando esta primeira camada estiver totalmente seca. O operador deverá estar bastante atento para a manutenção do leito filtrante. Por vezes, é recomendada a utilização de mantas geotêxteis para evitar o contato direto do lodo com a areia que compõe o leito. Isto facilita sobremaneira a remoção do material desidratado sem afetar o leito filtrante.

De acordo com Cordeiro (1999 apud *Water Pollution Control Federation*, 1983)³, os leitos de secagem têm as seguintes vantagens sobre as demais tecnologias:

- Baixo custo inicial quando o custo da área onde será instalado é baixo;
- Pequena complexidade de operação;
- Baixo consumo de energia elétrica;
- Pouca necessidade de condicionantes químicos;

³WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION - WPCF. (1983) *Sludge Dewatering – Manual of practice n. 20*. Washington-DC, USA.

- Alta concentração de sólidos no solo seco.

Como desvantagens ainda segundo o mesmo autor, podem ser citados:

- Necessidade de maiores áreas para a sua instalação;
- Necessidade de trabalho com lodo estabilizado;
- Necessidade de conhecimentos sobre o clima da região onde será instalado para elaboração de bom projeto;
- Trabalho intenso dos operadores para remoção do lodo seco caso não sejam adotadas medidas que evitem o contato do lodo com o leito filtrante.

3.7.3.1 Leitos de secagem a vácuo

Trata-se de uma adaptação ao sistema tradicional em que são utilizadas pressões negativas para acelerar o processo de drenagem. De maneira geral representa uma alternativa vantajosa para lodos gerados em locais com pequena disponibilidade de área para implantação de secagem de resíduos. O sistema é basicamente composto por:

- Laje de fundo em concreto armado;
- Camada de brita;
- Membrana filtrante apoiada sobre a camada de brita;
- Paredes divisórias e retentoras;
- Sistema de tubulações;
- Comportas de alimentação;
- Bomba de vácuo;
- Bomba para remoção de filtrado.

FONTE: Cordeiro (1999 apud Water Pollution Control Federation, 1983)³

Figura 1 - Sistema de leito de secagem a vácuo

3.7.3.2 Leito de secagem de tela em cunha

Os leitos de secagem chamados de tela em cunha, segundo Cordeiro (1999), são constituídos por tanques regulares rasos e impermeáveis. Seu fundo é formado por um septo de tela em cunha e o fundo falso é vedado. O controle do drenado é realizado através de uma válvula de gaveta. Trata-se, assim como o outro método alternativo apresentado no item anterior, de uma técnica adaptada do sistema de leito de secagem convencional voltado tanto para estações de tratamento de água quanto para estações de tratamento de esgotos que não disponham de área suficiente para implantação da tecnologia convencional. Sua operação é também semelhante a da técnica convencional, sendo considerada um pouco mais complexa pelas manobras necessárias.

FONTE: Cordeiro (1999 apud Water Pollution Control Federation, 1983)³

Figura 2 - Sistema de leito de secagem de tela em cunha

3.7.4 Lagoas de lodo

Outro método cuja tecnologia é baseada em princípios naturais é o das lagoas de lodo. Assim como os leitos de secagem, as lagoas de lodo são indicadas para locais onde o custo da terra é baixo e onde há muita disponibilidade de áreas para instalação da tecnologia. A desidratação ocorre em três fases: (1) drenagem, (2) evaporação e (3) transpiração, no entanto, é importante destacar que a evaporação é a fase mais importante.

O projeto de lagoas de lodo deve incluir:

- Sistema de tubulações de entrada de lodo;
- Sistema de tubulações de saída do decantado;
- Sistema de bombeamento;
- Equipamentos para a remoção do lodo que pode ocorrer mecanicamente ou não.

3.8 Possibilidades de disposição/reaproveitamento do lodo

Existem várias alternativas de disposição final do lodo de ETA que dependem, de maneira geral, da viabilidade técnica econômica e ambiental. Entre estas alternativas, aquelas que são mais usualmente utilizadas são: o lançamento em cursos d'água, a aplicação direta no solo, o aterro sanitário, a incineração, a incorporação ao concreto como agregado e a fabricação de tijolos cerâmicos.

De acordo com MEGDA *et al* (2005), várias são as possibilidades de aproveitamento dos lodos gerados em ETA, merecendo destaque a sua incorporação no processo de fabricação de cimento Portland, fabricação de tijolos, cultivo comercial de grama, compostagem, produção de solos comerciais, plantação de cítricos, melhoria na sedimentabilidade de águas com baixa turbidez, construção civil e incorporação em argamassas e concretos.

A redução da produção de lodo em ETA torna-se importante pela minimização dos custos operacionais com produtos químicos e por possibilitar que estes resíduos sejam encaminhados via rede coletora de esgotos sanitários para fins de processamento em ETE. As maiores vantagens desta alternativa está no fato de poderem ser concentradas em uma única instalação física todas as unidades de processamento da fase sólida (adensamento e desidratação), reduzindo consideravelmente os custos de operação e manutenção. (FERREIRA FILHO e WAELKENS, 2009).

Em seu trabalho, Ferreira Filho e Waelkens (2009) deixam claro que a viabilidade do lançamento de lodos de ETA na rede coletora de esgotos sanitários para realização de seu processamento em ETEs é dependente da massa de sólidos gerada na ETA e do impacto que pode ocasionar nas operações unitárias que

compõem a ETE, sendo necessária uma avaliação em função da concepção da ETE.

Além disso, há ainda a possibilidade de se aproveitar o lodo na fabricação de cerâmicas. De acordo com Jacomassi (2009), considerando-se o fato de que quanto maior a fração de partículas menores que $2,0\mu\text{m}$, mais rico é o lodo referente ao reuso e aproveitamento cerâmico, o lodo de ETA cujo coagulante é o cloreto de polialumínio é o que apresenta maior potencial totalizando uma massa acumulada de aproximadamente 20% de partículas que possuem dimensões abaixo de $2,0\mu\text{m}$. Este mesmo autor salienta ainda que para a incorporação de lodo de ETA em produtos industrializados, é necessária a avaliação dos impactos ambientais causados na confecção e utilização desses produtos bem como da avaliação da relação custo/benefício.

Alternativa para o reaproveitamento do lodo das ETA consiste na remoção de nutrientes, especialmente o fósforo de efluentes de estações de tratamento de esgotos. Segundo Chao (2006), no descarte de lodo de estações de tratamento de água são desprezadas toneladas de produtos químicos que poderiam ser reciclados e utilizados como insumos para remoção de fósforo por tratamento físico-químico com vantagens econômicas, uma vez que os lodos gerados em ETA têm elevado potencial para remoção de fósforo por adsorção, próprio de sua composição química baseada em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e de sua estrutura amorfa – característica que aumenta a área superficial dos sais de alumínio em comparação com a forma cristalina. Ainda de acordo com a referida autora, os pesquisadores têm considerado que processos de retenção de fósforo englobam mecanismos de adsorção e precipitação sendo os óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro os principais responsáveis por estes processos.

Estudos realizados na ETA Taiaçupeba situada na região metropolitana de São Paulo, comprovam que o lodo oriundo do tratamento de água pode ser utilizado em reaterro de valas. Segundo Fortes et al (2009), o lodo de ETA misturado com 3% de cal hidratada ou com cimento apresentou desempenho satisfatório no que diz respeito aos ensaios realizados e no que diz respeito ao fato de que se trata de um material que não agride o meio ambiente. Além do supracitado, a autora salienta que a preparação da referida mistura ocorre de maneira simplificada em usina ou no próprio canteiro, podendo ainda ser o material previamente preparado, dispensando-se assim a dosagem dos aglomerantes no momento da aplicação.

Conforme descrito por Moreira et al (2007), o lodo gerado nas ETA também pode ser utilizado para recuperação de áreas degradadas. Segundo o referido autor, considerando-se o caso específico de seu trabalho, o lodo da ETA Rio Descoberto continha quantidades consideráveis de matéria orgânica e fósforo. Através de vários fatores, foi evidenciada a dispersão geoquímica do material na área de estudo. Do ponto de vista nutricional, o uso do lodo para recuperação de áreas degradadas é considerado promissor pelo autor uma vez que os altos valores destes parâmetros foram transferidos para os horizontes mais profundos do solo possibilitando o desenvolvimento de vegetação no local. Além disso, comenta ainda que a matéria orgânica contribuiu para a imobilização do alumínio e conseqüentemente reduz a sua toxicidade para as plantas.

Pode-se dizer que merecem destaque os dois tópicos abaixo dentre as possibilidades de utilização do lodo de ETA porque são usos que encapsulam o lodo e conseqüentemente os resíduos de alumínio, evitando que chegue aos mananciais ou que entrem em contato com a população.

3.8.1 A utilização do lodo de ETA desidratado como sub-base para pavimentação

Por se tratar de material, de maneira geral, com características de pH aproximadamente neutro, baixos valores de DBO e altos valores de Sólidos Totais, o lodo de ETA possui grande versatilidade em seu reaproveitamento, especialmente quando levada em consideração a possibilidade de utilizá-lo em conjunto com o solo e/ou o cimento. Uma destinação que se aproveita bem destas características do lodo é a sua incorporação ao material utilizado para confecção de sub-base para pavimentação.

As sub-bases são as primeiras camadas de material a serem preparadas para execução da pavimentação e podem ser confeccionadas, basicamente, com solos naturais, rochas alteradas, rochas naturais, misturas artificiais de solos ou rochas alteradas, ou ainda qualquer combinação destes materiais que ofereçam, após os devidos umedecimento e compactação, boas condições de estabilidade.

A sub-base pode ser executada de diversas maneiras sendo as mais importantes a estabilizada granulometricamente e a de solo melhorado com cimento. Segundo a norma rodoviária DNER-ES 301/97, a sub-base estabilizada granulometricamente é a camada granular de pavimentação executada sobre o subleito ou reforço do subleito devidamente compactado e regularizado. Já a sub-base de solo melhorado com cimento, de acordo com a norma rodoviária DNER-ES 302/97, é a camada proveniente de uma mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções previamente determinadas por processo específico de dosagem em laboratório.

O produto resultante do processo de melhoramento do solo com cimento é um material com boa resistência à compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade.

Continuando com a norma rodoviária DNER-ES 301/97, os materiais constituintes das sub-bases são solos, misturas de solos, mistura de solos e materiais britados, escória ou produtos totais de britagem. Eles deverão apresentar as seguintes características:

- Índice de Grupo (IG) = 0 quando submetido aos ensaios de caracterização: DNER-ME 080, DNER-ME 082 e DNER-ME 122.
- A fração retida na peneira nº 10 do ensaio de granulometria deve ser constituída de partículas duras, isentas de fragmentos moles, material orgânico ou outras substâncias prejudiciais.
- Índice de Suporte Califórnia (ISC) > 20% ou de acordo com as especificações do projeto e expansão < 1,0% determinada através dos ensaios DNER-ME 129 (Métodos B) e ISC conforme DNER-ME 049.

Por sua vez, a norma rodoviária DNER-ES 302/97 define que o Cimento *Portland* utilizado no melhoramento do solo para sub-base deverá obedecer às exigências da DNER-EM 036/95 e da norma técnica da ABNT NBR 5732. A água deverá estar isenta de impurezas como sais, ácidos, álcalis ou matéria orgânica. Os solos empregados em sub-base de solo-cimento serão provenientes de ocorrências de materiais devendo apresentar as seguintes características quando submetidos aos ensaios DNER-ME 080, DNER-ME 082 e DNER-ME 122:

- Porcentagem máxima passando na peneira nº 200 = 50%;
- Índice máximo de plasticidade = 18%;
- Limite máximo de liquidez = 40%.

Esta norma ainda define que a mistura projetada de solo-cimento e água deverá ser deixada solta para curar por um período mínimo de 72 horas, devendo, decorrido este intervalo de tempo, satisfazer as seguintes características:

- Índice de grupo (IG) = 0;
- ISC > 30% e expansão máxima de 1% conforme ensaios supracitados.

O ensaio de ISC deverá ser realizado até a penetração de 12,7mm (0,5 polegada), de modo que seja possível o traçado com precisão da curva pressão-penetração.

A norma rodoviária DNER-ES 302/97 determina ainda que, tanto na mistura em usina quanto na mistura na pista, deverão ser verificadas aleatoriamente:

- Antes da aplicação do cimento, a determinação do grau de pulverização do solo através de peneiramento em peneira de nº 04, com exclusão do material graúdo (acima da peneira 3/8");
- Depois da adição de cimento, a verificação da quantidade de cimento incorporada (peso e volume), ensaio de compactação após 72 horas para determinação da massa específica aparente máxima e determinação do teor de umidade higroscópica depois da adição da água e homogeneização da mistura curada (DNER-ME 052 e DNER-ME 088).

Para que a mistura possa ser considerada solo-cimento, é necessário que tenha condições específicas de resistência e durabilidade. Estas condições, dependendo naturalmente das características físicas dos solos utilizados são alcançadas com teores superiores a 4% em peso. Na medida em que foram sendo aperfeiçoados os métodos construtivos com solo-cimento, o teor de cimento na

mistura foi sendo reduzido até que chegou-se a um valor padrão de 8% em volume com pequenas variações (cerca de 2%) para mais ou para menos.

O solo é o componente mais utilizado para a obtenção do solo-cimento. Por conta desta característica, acredita-se que o lodo da ETA Mirassol, por ser composto em sua maioria por sólidos totais oriundos de partículas solo, poderá ser bem utilizado como matéria-prima para a execução de sub-bases com solo-cimento. O cimento entra na mistura em quantidades que variam de 5 a 10% do peso do solo. Isto é suficiente para estabilizá-lo e conferir propriedades de resistência desejadas para o composto.

Os solos adequados para a confecção de solo-cimento são os chamados solos arenosos, isto é, aqueles que possuem quantidade de areia na faixa de 60 a 80% da sua massa total. É importante destacar que um solo arenoso é completamente diferente de areia. A areia não pode ser considerada um solo arenoso porque não dispõe nenhuma quantidade de argila em sua composição, não sendo, portanto, adequada à produção de solo-cimento. O solo argiloso, que contém mais argila do que areia, também não é adequado à produção de solo-cimento porque requer uma maior quantidade de cimento e é difícil de misturar e compactar. No entanto, deve ficar claro que estes solos poderão ser corrigidos com a adição de areia. Nas misturas usuais para a confecção de solo-cimento, utiliza-se de 12 a 15 partes de cimento para 100 partes de solo seco em massa.

3.8.2 Aproveitamento como agregado em Concreto

Há estudos que indicam a possibilidade da incorporação do lodo de ETA devidamente desidratado como agregado na confecção de concretos estruturais e não estruturais. Nos estudos elaborados por Ferreira, Rego e Caliari (2009), os melhores resultados obtidos na incorporação do lodo ao concreto e fabricação de

tijolos ocorreram com traço contendo 3% de lodo como agregado. Traços com concentração superior a 5% não oferecem, segundo os referidos autores, condições adequadas para a manufatura do concreto estrutural. Corroborando com o dito anteriormente, Hoppen e colaboradores (2005), concluíram que doses inferiores a 7% de lodo podem ser usadas em aplicações normais como a fabricação de artefatos e estruturas pré-moldadas ou a construção de pavimentos em concreto uma vez que foram obtidas resistências à compressão superiores a 20MPa.

Segundo Megda *et al* (2005), o estudo relativo à imobilização de lodo em matrizes de argamassa e concreto iniciou-se pelo estudo de argamassas com adições de lodo nas frações de 5% a 50% em relação à massa de agregado miúdo. Os resultados preliminares permitiram aferir que as adições de lodo com melhor desempenho localizavam-se na faixa entre 1% e 5% de lodo seco em relação ao agregado miúdo. Nestes estudos, foram utilizados traços de 1:3 e 1:2:3 em massa para argamassas e concretos, respectivamente.

4. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

4.1 Bacia Hidrográfica

Apesar de ter se originado dos primeiros povoamentos das cabeceiras do rio São José dos Dourados, que dá nome a UGRHI-18 (Unidade de Gestão de Recursos Hídricos), Mirassol é um dos municípios que compõem a UGRHI-15 também conhecida como Bacia do Turvo-Grande.

Esta UGRHI, segundo Relatório Anual das Águas Interiores do Estado de São Paulo, é composta por 64 municípios e abriga cerca de 3% (aproximadamente 1.235.708 habitantes) da população paulista. Também de acordo com o referido relatório, 91% dos habitantes vivem em áreas urbanas, são coletados 97% dos esgotos produzidos e o índice de tratamento médio é de 29% do esgoto gerado.

Por se tratar de uma região bastante desenvolvida economicamente, o uso da água está caracterizado por 4 categorias conforme a Tabela 03. Nela fica evidente a importância do agronegócio e da indústria para região o que indica potenciais riscos para a gestão dos recursos hídricos da bacia. De fato, a cidade de Mirassol é conhecida como importante pólo de produção de móveis, contando com várias indústrias neste setor.

Tabela 3 - Categorias de uso da água na UGRHI-15

Categoria de Uso	Demanda (m³/s)
Urbano	3,52 (21,7%)
Industrial	4,9 (30,2%)
Irrigação	7,81 (48,1%)
TOTAL	16,23

FONTE: (Adaptado) Relatório Anual das Águas Interiores do Estado de São Paulo

A Figura 03 representada a seguir, demonstra a configuração da UGRHI-15 e destaca a localização do município de Mirassol.

FONTE: (Adaptado) Relatório Anual das Águas Interiores do Estado de São Paulo

Figura 3 - Configuração da UGRHI-15 e localização do município de Mirassol

Na Figura 04, são demonstradas as características básicas dos municípios que compõem a UGRHI-15 referentes ao ano de 2008. Entre as características, podem ser destacados os percentuais de atendimento de coleta e tratamento das cidades e os corpos receptores do município de Mirassol (Córregos da Fartura, Piedade e Fundão). Além disso, é importante que seja visualizada a alta carga de DBO lançada por Mirassol em comparação com os demais municípios da bacia, cerca de 2.829 kg DBO/dia.

Merece ressalva o fato de que a partir do ano de 2008, Mirassol concedeu os serviços públicos de água e esgotos a uma empresa privada com o objetivo de universalizar a prestação dos serviços para a população e melhorar e modernizar a operação dos seus sistemas.

Tabela 4 - Características básicas de saneamento dos municípios componentes da UGRHI-15

Município	Concessão	População IBGE 2008		Atendimento (%)		Eficiência %	Carga Poluidora (kg DBO/dia)		ICTEM	Corpo Receptor
		Total	Urbana	Coleta	Tratam.		Potencial	Remanesc.		
Macedônia	Sabesp	3.430	2.446	87	100	80	132	40	7,3	Cór.da Captuva
Meridiano	Sabesp	3.941	2.602	82	100	83	141	45	7,7	Cór. Sucuri
Mesópolis	Sabesp	1.784	1.125	100	100	81	61	12	10,0	Cór.do Meio
Mira Estrela	Sabesp	2.659	1.988	100	100	80	107	21	9,5	Cór. Aroeira
Mirassol	DAE	54.350	52.380	85	0	0	2.829	2.829	1,3	Cór.Fartura - Piedade - Fundão
Mirassolândia	DAE	4.338	3.623	76	0	0	196	196	1,1	Cór.da Faxina
Monte Alto	Sabesp	45.719	42.733	97	64	92	2.308	995	6,6	Córrego Rico
Monte Azul Paulista	SAE	19.739	17.730	100	30	82	957	722	4,0	Cór. Sta Rosa, Cachoeirinha e Matadouro
Nova Granada	Sabesp	18.543	16.385	97	100	81	885	190	8,6	Cór.Mata Negra
Novais	SAE	3.908	3.234	100	100	80	175	35	9,5	Córrego do Matão
Olimpia	DAEMO	50.215	46.537	100	30	86	2.513	1.862	3,8	Cór. dos Pretos, Olhos D'Água,. Bagaçu e Bela Vista.

FONTE: (Adaptado) Relatório Anual das Águas Interiores do Estado de São Paulo

Quando do momento em que a concessionária privada assumiu os serviços públicos de água e esgotos, teve a necessidade de regularizar a situação das licenças dos componentes do sistema para que pudessem ser viabilizados os investimentos cuja execução foi determinada em contrato assinado com a Prefeitura do município. Especificamente no caso da ETA a que se refere o presente trabalho, foi necessário requerer junto ao órgão ambiental responsável a dispensa das licenças prévia (LP) e de instalação (LI) uma vez que se trata de um empreendimento construído há muito tempo quando não havia a obrigatoriedade da obtenção de licenças para construir.

Aceitadas as justificativas pela CETESB, ela forneceu a dispensa da LP e da LI, porém com a ressalva de que, na ocasião da solicitação da licença de operação (LO) da ETA, deverá ser apresentado um Plano de gerenciamento dos resíduos sólidos gerados na estação envolvendo o lodo da limpeza dos decantadores e a água de lavagem dos filtros. Como pode ser verificado no documento apresentado

na Figura 5, este plano deverá contemplar a disposição dos resíduos exclusivamente em sistemas autorizados pela CETESB.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO		25	Processo Nº 14/00856/09
CERTIFICADO DE DISPENSA DE LICENÇA		Nº 14001019 Versão: 01 Data: 28/01/2010	
IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO SOLICITANTE			
Nome SANEAMENTO DE MIRASSOL - SANESSOL S/A Logradouro RUA JOÃO CAETANO MENDONÇA DE ALMEIDA Bairro SÃO JOSÉ CNPJ 09.263.541/0001.87		CEP 15130-000	Cadastro na CETESB 451- 732-0 Número 2005 Complemento Município MIRASSOL
CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO			
Área Construída (m2) 1398,09 Atividade a ser Desenvolvida no Local Estação de Tratamento, Reservação e Distribuição de Água. Atividade Registrada na Junta Comercial Captação, tratamento e distribuição de água.			
RESULTADO DA SOLICITAÇÃO DE DISPENSA			
O Empreendimento supra teve o seu pedido de dispensa de obtenção de Licença de Instalação <u>deferido</u> por esta Companhia, com base no artigo 58-A do Regulamento da Lei 997 de 31/05/76, aprovado pelo decreto nº 8468 de 08/09/76, e suas alterações.			
<u>Observação:</u> Apresentar por ocasião da solicitação da Licença de Operação, Plano de Gerenciamento dos resíduos sólidos gerados na Estação de Tratamento de Águas - Lodo da Limpeza dos Decantadores e do Filtro. Este plano deverá contemplar a disposição dos resíduos exclusivamente em sistemas de armazenamento, reprocessamento e/ou de destinação de resíduos autorizados pela CETESB. O presente Certificado dispensa o empreendimento das Licenças Prévia e de Instalação da CETESB, para as áreas construídas e de atividade ao ar livres comprovadamente existentes anteriormente a 08/08/1976. Fica o empreendimento convocado nos termos do parágrafo primeiro do artigo 71-A do Decreto nº 47397 de 04/12/02, a requerer no prazo de 120 (cento e vinte) dias, a devida Licença de Operação.			
Esta dispensa está vinculada à exatidão das informações apresentadas pelo Interessado. A CETESB poderá, a qualquer momento, invalidá-la caso verifique discordância entre as informações e as características reais do empreendimento. O presente documento foi emitido sem rasura e/ou colagem.			
USO DA CETESB		EMITENTE	
SD Nº 14012040		Local: SÃO JOSÉ DO RIO PRETO Este certificado de número 14001019 foi certificado por assinatura digital, processo eletrônico baseado em sistema criptográfico assimétrico, assinado eletronicamente por chave privada. Para verificação de sua autenticidade deve ser consultada a página da CETESB, na Internet, no endereço: www.cetesb.sp.gov.br/sita/licenca	
ENTIDADE			

Figura 4 - Documento que fornece a dispensa da LP e da LI da ETA Mirassol mediante apresentação de PG dos resíduos

4.2 Descrição do SAA de Mirassol

O SAA – Sistema de Abastecimento de Água – de Mirassol é considerado bastante peculiar porque se trata de uma cidade cortada por uma importante rodovia estadual: SP-310 ou Rodovia Washington Luís e por uma ferrovia utilizada para escoar a produção do agronegócio da região. Estes dois elementos de transportes são administrados por concessionárias privadas, dificultando bastante as intervenções em áreas que se encontram em suas redondezas. Desta forma, o SAA é caracterizado por 3 áreas de abastecimento distintas e com pouca possibilidade de integração.

Em decorrência disto, a população de Mirassol é abastecida por um sistema misto de captação de água: 40% da população recebem água oriunda do rio São José dos Dourados e 60% recebem água proveniente de poços profundos que captam no aquífero Bauru a profundidades que variam de 100 a 200m. A parcela que corresponde à água superficial equivale a 75L/s de vazão média e passa por tratamento na ETA Mirassol.

O município conta com 233km de redes de distribuição de água com diversos materiais (ferro fundido, PVC, cimento amianto) e diâmetros que variam de 50 a 200mm. Além disso, há 35 reservatórios que totalizam 7.205m³ de capacidade de armazenamento.

A ETA Mirassol é um exemplo clássico da tecnologia de tratamento por ciclo completo convencional. Trata-se de uma estação antiga, o que, em parte, justifica a ausência de tecnologias mais refinadas para o tratamento. Diz-se em parte porque as características da água bruta também não justificam a utilização de processos mais complexos. Sua capacidade de produção mensal é de aproximadamente 440.000m³ de água tratada.

A água bruta é captada numa barragem do rio São José dos Dourados localizada na zona rural do município a cerca de 8km de distância da ETA. Ela é bombeada por uma adutora de 250mm feita em ferro fundido com juntas de chumbo, tecnologia ultrapassada e perigosa por conta da potencial solubilização deste metal. Abaixo, podem ser observadas as Figuras 5 e 6 demonstram respectivamente as vistas da barragem em terra e da área de acumulação de água ou espelho d'água para captação da AB.

Figura 5 - Barragem de captação superficial de Mirassol

A AB entra na estação de tratamento de água de Mirassol diretamente em sua primeira etapa de tratamento: a aeração. Esta etapa tem objetivo de oxidar o ferro e o manganês presentes na AB, porém não surte o efeito esperado. O aerador da estação pode ser visto na Figura 7.

Figura 6 - Área de acumulação para captação de águas superficiais em Mirassol

Figura 7 - Aerador da ETA Mirassol

Após a aeração a AB recebe o coagulante Policloreto de Alumínio (dosagem média de 18 mg/L) na entrada da Calha Parshall onde ocorre a mistura rápida (Figura 8). Da mistura rápida, a água coagulada segue para a etapa de floculação que no caso específico da ETA Mirassol ocorre através da passagem por chicanas que proporcionam a agitação necessária para que se inicie formação dos flocos através da passagem de modo ora ascendente ora descendente através dos floculadores representados na Figura 9.

Figura 8 - Coagulação com PAC e Mistura rápida (Calha Parshall)

Figura 9 - Flocladores hidráulicos (chicanas) da ETA Mirassol

Uma vez floclada, a água segue para a etapa de sedimentação que ocorre nos decantadores da estação (Figura 10). Nesta etapa, a água tem a sua velocidade reduzida de maneira que seja permitida a sedimentação dos flocos formados durante a etapa anterior. Os quatro decantadores da ETA Mirassol tem suas limpezas executadas manualmente com o auxílio de mangueiras e por intermédio de descargas de fundo que desperdiçam bastante água uma vez que não há nenhum

mecanismo de reaproveitamento da mesma. Os intervalos de tempo entre as limpezas variam entre 1 e 2 meses. Estes flocos tendem a se acumular no fundo dos decantadores formando o lodo e a água decantada segue para a penúltima etapa do tratamento: a filtração. Vale destacar que durante a passagem dos decantadores para os filtros, a água sofre uma inter-cloração com a dosagem de hipoclorito de sódio.

Figura 10 - Decantador n.º 02 da ETA Mirassol

A filtração na ETA Mirassol ocorre também de maneira convencional pela passagem da água decantada de maneira descendente através do meio filtrante formado por solo de diferentes granulometrias e dispostos do maior para o menor diâmetro médio para simular o que ocorre na natureza. A referida estação dispõe de seis filtros (Figura 11) que são limpos com periodicidade diária e de modo alternado.

Figura 11 - Filtro n.º 01 da ETA Mirassol

Da filtração a água filtrada segue para ultima etapa do tratamento que consiste na desinfecção e na fluoretação. Na ETA Mirassol, a desinfecção é realizada com a dosagem de hipoclorito de sódio (10 a 12% e dosagem média de 1,5mg/L) e a fluoretação através da dosagem de ácido fluossilícico (22% e dosagem média de 0,7mg/L). Após as devidas desinfecção e fluoretação, a água então pode ser distribuída para a população. A Figura 12 demonstra de maneira simplificada um esquema do SAA de Mirassol que depende de águas superficiais.

Figura 12 - Esquema do SAA de Mirassol (Águas superficiais)

4.3 Descarte do lodo da ETA Mirassol

A ETA Mirassol hoje não dispõe de mecanismos que garantam o correto gerenciamento dos resíduos sólidos gerados em seu processo de tratamento. Conforme descrito no item anterior, os decantadores são limpos manualmente em intervalos de tempo que variam de 1 a 2 meses. Esta limpeza consiste na abertura de registros de descarga de fundos dos decantadores que são esvaziados. Na Figura 13, pode ser observado o ciclo do lodo o qual se inicia na captação da AB e finaliza-se com a disposição *in natura* no Córrego da Fartura. Esta Figura demonstra a localização da barragem de captação, da ETA Mirassol e do Córrego da Fartura dentro da área do município.

Figura 13 - Ciclo do lodo da ETA Mirassol

Para efetuar a descarga de fundo dos decantadores o operador tem que fechar o registro que permite a entrada da água no decantador que deseja limpar (Figura 14) e, em seguida, tem que se dirigir a uma caixa de manobra de válvulas de posse de uma chave “T” que lhe permita acesso aos registros.

Figura 14 - Fechamento do registro que permite a entrada de água no decantador n. 01

Uma vez de frente para a caixa de manobras, o operador acopla a chave ao registro (Figura 15) e inicia a sua abertura em 4 etapas (Figuras 16, 17, 18 e 19) de maneira que seja controlada a vazão de descarte visualmente. É importante que seja salientado que existe uma válvula específica para a execução da descarga de fundo de cada um dos decantadores. Especificamente no caso do decantador de n.º 01, a referida válvula é aquela que se encontra a esquerda nas Figuras 16, 17, 18 e 19.

Figura 15 - Acoplamento da chave ao registro de descarga de fundo

Figura 16 - Etapa 01 - Início da abertura para a descarga de fundo

Figura 17 - Etapa 02 - Saída de pequena vazão e grande pressão

Figura 18 - Etapa 03 - Saída de grande vazão e ainda grande pressão

Figura 19 - Vazão final de descarga

Após o esvaziamento resta apenas o lodo mais denso que se encontrava no fundo dos decantadores. Este lodo tem que ser lavado com o auxílio de jatos de mangueira que o destinam a abertura de descarga. Todo o lodo da ETA Mirassol é descartado na rede de águas pluviais e segue diretamente para o Córrego da Fartura (Figura 20).

Figura 20 - Vista da saída do Córrego da Fartura que neste trecho se encontra canalizado

5. METODOLOGIA

5.1 Quantificação do lodo gerado na ETA Mirassol (Estimativa)

Como já abordado no presente trabalho, a ETA Mirassol realiza o tratamento da água de forma convencional por ciclo completo com a utilização do Policloreto de Alumínio como coagulante.

De acordo com Ferreira Filho e Waelkens (2009), a quantidade de lodo produzida por uma ETA pode ser calculada através da seguinte equação:

$$PL_C = \frac{SST_{AC} - SST_{AB}}{DC} \quad (\text{Eq. 5.1})$$

Em que:

PL_C : Produção de lodo associado ao coagulante;

SST_{AC} : Sólidos em Suspensão Totais na Água Coagulada;

SST_{AB} : Sólidos em Suspensão Totais na Água Bruta;

DC : Dosagem de Coagulante.

Em seu trabalho, os referidos autores demonstram que, tomando-se a AB oriunda do reservatório de Guarapiranga localizado na região metropolitana de São Paulo (RMSP) e utilizando-se o PAC como coagulante, a produção de lodo foi de 4,75mg de massa seca para cada 1mg de Al. Ele destaca que este valor se encontra próximo do valor teórico de 4,22mg/mg e observa que a produção de lodo do PAC apresentou valores próximos quando comparado ao sulfato de alumínio, podendo-se afirmar que ambos os coagulantes apresentam comportamento semelhante com respeito à produção de lodo.

Em trabalho, Barroso (2002) estima que a produção de lodo nas ETA que utilizam o sulfato de alumínio como coagulante é de cerca de 22g de sólidos por m³ de água tratada. Considerando as afirmações deste e do parágrafo anterior, pode

ser utilizada a relação de 22g de sólidos por m³ de água tratada para estimar a produção de lodo da ETA Mirassol.

Desta forma, sabendo-se que a ETA Mirassol trata uma vazão de 440.000m³/mês, estima-se em 9.680.000g de sólidos por mês ou aproximadamente 10 toneladas de sólidos por mês. Levando-se em conta que a ETA dispõe de 4 decantadores e que a produção de sólidos é uniforme entre eles, cada decantador produz em média 2,5 toneladas de sólidos por mês.

5.2 Caracterização da água bruta

Para a correta operação de uma estação de tratamento de água, é necessário dispor das características da água bruta com o objetivo de identificar quais parâmetros deverão ser adequados aos padrões de potabilidade. Desta forma, as concessionárias de prestação dos serviços públicos de água e esgotos devem realizar periodicamente análises para a determinação dos parâmetros de acordo com a classe do rio onde ocorre a captação de águas superficiais e de acordo com o determinado pela resolução CONAMA 357/2005. A empresa privada que presta os serviços públicos de água e esgotos à população de Mirassol realiza as análises a cada 06 meses e disponibilizou para a composição do presente trabalho o último relatório de ensaio realizado por eles. O relatório está anexado na íntegra e pode ser analisado detalhadamente no item 6.1 correspondente aos resultados.

Apesar de se encontrar em área de APP – Área de Proteção Permanente – a represa situada no rio São José dos Dourados e responsável pelo acúmulo de água para abastecimento de 40% da população mirassolense sofreu durante muito tempo e ainda sofre com várias ações antrópicas. Quase não há mata ciliar no rio à montante da represa e todas as suas margens permitem o acesso dos animais que

são criados nas fazendas e sítios ribeirinhos. A barragem encontra-se bastante assoreada e com grande presença de plantas aquáticas como pôde ser observado na Figura nº 06. Estas características justificam os resultados obtidos nas análises e exigem um tratamento de água convencional com atenção especial aos parâmetros de OD, Coliformes Termotolerantes, Alumínio Dissolvido, Ferro Dissolvido, Corantes e Resíduos Sólidos Objetáveis. Isto determina ainda uma revisão da classificação do rio que não dispõe das características necessárias para um rio Classe 02.

5.3 Coleta das amostras

Ao longo do período de elaboração dos trabalhos foram realizadas várias visitas ao município de Mirassol. A primeira delas, com o objetivo de coletar as informações necessárias à execução da parte prática do presente trabalho, foi realizada no dia 15/05/2010. Inicialmente, foram retiradas fotografias da captação de águas superficiais que alimentam a ETA Mirassol e que estão demonstradas no item 4.2.

Retornou-se então a ETA e deu-se início ao esvaziamento dos decantadores de acordo com o procedimento descrito no item 4.3 para que pudessem ser coletadas as amostras de lodo. O decantador não era limpo há aproximadamente 02 meses e a água floculada em seu interior possuía o seguinte aspecto antes de seu esvaziamento:

Figura 21 - Detalhe da formação dos flocos no decantador 01

Os registros de descarga do decantador nº 01 da ETA Mirassol foram abertos às 15:00h e a descarga durou até por volta das 17:00h. Considerando que cada decantador possui uma capacidade de armazenamento de aproximadamente 260m^3 e que o tempo necessário para o seu esvaziamento foi de cerca de 2h, chega-se a uma vazão de descarga de $130\text{m}^3/\text{h}$.

Decorridas as 2h necessárias ao esvaziamento do decantador, foi possível realizar a coleta do lodo contido no fundo do decantador conforme demonstram as Figuras 22 e 23 com a utilização dos seguintes materiais:

- Escada;
- Luvas;
- Pás;

- Recipiente plástico para armazenamento da amostra;
- Botas de borracha.

Figura 22 - Coleta das amostras de lodo

Figura 23 - Decantador seco após a coleta das amostras de lodo

Foi coletada uma amostra de 20L de lodo diretamente do fundo do decantador nº 01 da ETA Mirassol. Vale ressaltar que, o recipiente onde foi acondicionada a amostra de lodo foi devidamente lavado antes da coleta bem como as pás utilizadas. Uma vez coletado o lodo do decantador, o operador da ETA executou a sua limpeza final com o auxílio de jatos de mangueira.

Na Figura 23, as setas vermelhas demonstram as marcas do nível em que estava o lodo dentro do decantador antes da sua secagem. Nesta Figura, também podem ser observadas as rachaduras nas paredes do decantador que fazem com que a água passe dos floculadores para o decantador 01 e do decantador 01 para o decantador 02. Este é um problema decorrente da idade da ETA e da falta de manutenção a que ela foi submetida durante toda a sua operação. A concessionária responsável pela sua operação atual já está em fase de contratação da empresa que resolverá o problema.

Houve ainda uma segunda visita a ETA para coleta de mais material. Desta vez, foi escolhido o decantador nº 02. O procedimento realizado foi exatamente o mesmo da primeira coleta, variando-se apenas a quantidade de lodo coletado: 80L. Esta visita ocorreu no dia 27/08/2010. A Figura 24 demonstra a bombona com a amostra de lodo coletado no dia 15/05/2010 devidamente identificada.

Figura 24 - Amostra de lodo

5.4 Secagem da amostra

Para secagem da amostra de lodo havia muitas possibilidades como centrífugas, leitos de secagem, lagoas de lodo, filtros ou prensas. Com intuito de facilitar os trabalhos e reduzir custos, optou-se por simular uma lagoa de lodo fora de escala.

Desta forma, foi necessário dispor dos seguintes materiais:

- 05 Argamassadeiras ou simplesmente masseiras com capacidade de 10L cada e dimensões aproximadas de 45cm x 29cm x 15cm;
- 01 Pá;

Figura 25 - Materiais utilizados para secagem do lodo

Definidos os materiais, foi necessário identificar um local adequado para colocá-los uma vez que deveriam ficar expostos ao sol e devidamente protegidos contra vandalismo ou quaisquer outras interferências externas. A primeira amostra foi seca em 02 argamassadeiras. Após a segunda coleta, foram adquiridas mais 03 argamassadeiras onde foram dispostos os conteúdos de três das quatro bombonas

para secagem. Uma foi colocada como reserva para eventuais insucessos nos ensaios.

Após uma pesquisa dentro do campus da EESC (Escola de Engenharia de São Carlos), encontrou-se um local próximo ao Laboratório de Resíduos Sólidos onde a amostra estaria segura e adequadamente exposta ao sol. Trata-se de uma área cercada onde estão dispostos equipamentos meteorológicos.

Um fato que merece destaque na escolha do local de secagem no campus de São Carlos é que esta cidade possui um clima muito mais ameno do que a cidade de Mirassol, fonte do lodo a ser estudado. Assim, verificando-se o tempo em que a amostra secará, ter-se-á a certeza de que, em seu local de origem, se disposto ao sol, o lodo secará em menos tempo de exposição.

A amostra devidamente identificada conforme a Figura 24 foi derramada nas argamassadeiras e disposta na área cercada próxima ao Laboratório de Resíduos Sólidos para secar por um período inicial de um mês. As Figuras 26 e 27 contemplam as amostras em processo de secagem e a área onde foram dispostas. Ao final deste período, foi verificado o teor de umidade de 60% e aspecto semelhante ao de lama seca ou de cenários de fotografias referentes ao semi-árido nordestino do Brasil (Figuras 28 e 29). É interessante observar na Figura 28 as marcas das separações entre as massas sólidas e mais ainda observar a grande redução de volume que a amostra sofreu ao compará-la com as Figuras 26, 28 e 29.

Figura 26 - Amostra em período de secagem

Figura 27 - Local escolhido para secagem ao sol das amostras

Figura 28 - Amostra nº 01 após 1 mês de secagem exposta ao sol

Figura 29 - Amostra nº 02 após 1 mês de secagem exposta ao sol

5.5 Utilização da ABNT NBR 10.004/2004 – Classificação dos resíduos sólidos

A NBR 10.004/2004 da ABNT define como resíduos sólidos aqueles materiais nos estados sólido e semi-sólido os quais resultam de atividades de origem

industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou diretamente nos corpos d'água.

Ainda segundo a referida norma, a classificação dos resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

Para efeitos da norma NBR 10.004/2004, os resíduos são classificados em:

a) Resíduos Classe I – Perigosos:

São aqueles que apresentam periculosidade, ou seja, característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, apresente riscos à saúde pública ou riscos ao meio ambiente. Também são classificados como perigosos aqueles resíduos que possuem:

- Inflamabilidade;
- Corrosividade;
- Reatividade;
- Toxicidade;
- Patogenicidade.

b) Resíduos Classe II – Não perigosos;

b.1) Resíduos Classe II A – Não inertes:

São aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I ou Classe II B nos termos da norma NBR 10.004/2004. Eles podem ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

b.2) Resíduos Classe II B – Inertes:

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, segundo a ABNT NBR 10.007/2004 e submetidos a contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme a ABNT NBR 10.006/2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

O processo de classificação dos resíduos deve seguir o seguinte fluxograma:

Fonte: NBR 10.004/2004

Figura 30 - Fluxograma para a classificação dos resíduos sólidos

5.6 Ensaio de Lixiviação (NBR 10.005)

De acordo com a norma NBR 10.005/2004 da ABNT, lixiviação é o processo para determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator.

No dia 20/09/2010, mais precisamente às 14:00 horas, teve início o procedimento para obtenção dos extratos lixiviados da amostra coletada no mês de maio. Para desenvolvimento deste ensaio, foram necessários os aparelhos e materiais descritos nos itens 4.1 e 4.2 da NBR 10.005. De acordo com o item 5.1.3 da NBR 10.005/2004, para obtenção da solução de extração procedeu-se da seguinte forma:

- 1) Pesou-se uma pequena quantidade da amostra e reduziu-se o tamanho de suas partículas para diâmetros em torno dos 9,5mm. Em seguida, transferiu-se 5g para um béquer para determinação futura do tipo da solução de lixiviação.

Figura 31 - Amostra preparada para ensaio de lixiviação e solubilização

- 2) Adicionou-se então 96,5mL de água deionizada e cobriu-se com vidro de relógio. Agitou-se a amostra vigorosamente por 5 minutos e aferiu-se o pH o qual resultou em valor de 7,92. Como este valor é superior a 5,0, passou-se aos itens “d” e “e” os quais determinam que devem ser adicionados 3,5mL de HCl (1N), homogeneizar a solução, cobrir com vidro de relógio e aquecer a 50°C durante 10 minutos. Esfriou-se então a amostra e aferiu-se novamente o pH que resultou em 1,62. Desta forma, fica determinada a utilização da solução de extração nº 1.
- 3) A solução de extração nº 1, conforme letra “a” do item 4.2.6 da NBR 10.005/2004, é obtida através da adição de 5,7mL de ácido acético glacial em água preparada conforme o item 4.2.1 da referida norma e da adição de 64,3mL de NaOH (1N). O pH desta solução deverá ser de $4,93 \pm 0,05$.
- 4) Utilizando-se 2 béqueres com 25g de amostra de lodo cada e completando-se com a solução de extração nº 1, inseriu-se no agitador por 18h conforme o item 5.2.1.4.
- 5) O último passo para obtenção do extrato é a filtração e ocorreu após o tempo de permanência no agitador. Teve início no dia 21/09/2010 às 11:00h. Para tal, a amostra foi filtrada em papel filtro e funil comuns, seguida de filtração a vácuo.
- 6) Finalizada a filtração, estava obtido o extrato liviado com pH de 5,31.
- 7) A amostra teve então alíquotas retiradas e preservadas para execução do ensaio de análise de metais pesados.

Em seguida, pode ser observado o fluxograma da lixiviação extraído da ABNT NBR 10.005/2004.

Figura 32 - Fluxograma de lixiviação

5.7 Ensaio de Solubilização (NBR 10.006)

A NBR 10.006/2004 fixa os requisitos exigíveis para a obtenção do extrato solubilizado de resíduos sólidos visando diferenciar os resíduos classificados na NBR 10.004 como classe II A – Não inertes – e classe II B – Inertes.

Também iniciado no dia 20/09/2010, o ensaio de obtenção do extrato solubilizado utilizou a aparelhagem descrita no item 3 da NBR 10.006. Seu procedimento consistiu em:

- 1) Secagem da amostra em estufa e moagem até serem obtidos grãos de diâmetros médios em torno dos 9,5mm.
- 2) Inserção de 250g de amostra em béquer e adição de 1000mL de água deionizada seguida de agitação em baixa velocidade por 5 minutos.
- 3) Cobertura do frasco com filme de PVC e deixar em repouso por 7 dias em temperatura de até 25°C.
- 4) Após o período de repouso, no dia 27/09/2010, foi realizada a filtração com aparelho guarnecido com membrana filtrante de 45µm de porosidade.
- 5) O filtrado final consiste no extrato solubilizado o qual registrou pH de 7,85 conforme item 4.7 da NBR 10.006.
- 6) O material teve então alíquotas retiradas e preservadas para realização dos ensaios de metais pesados.

5.8 Determinação da Dosagem de Concreto

Sabe-se que para cada valor de resistência considerado para o concreto existem inúmeras possibilidades de traços para a sua confecção. De maneira geral o concreto é constituído por Cimento, Agregado miúdo, Agregado graúdo e água. Trata-se de uma rocha artificial que quando fresca, possui consistência plástica,

podendo ser moldada em formas e dimensões desejadas com a utilização de fôrmas.

Os agregados são considerados materiais inertes enquanto que a pasta (mistura de cimento e água) constitui o material ligante que junta as partículas dos agregados em uma massa sólida. O material mais caro do concreto é o cimento Portland. Por conta disso, os agregados constituem cerca de 60 a 80% do concreto.

Como constituem a maior parte do concreto, os agregados devem atender a três condições:

- a) Devem ser estáveis nas condições de exposição do concreto, não contendo materiais com efeitos prejudiciais;
- b) Devem apresentar resistência à compressão e ao desgaste;
- c) Devem ser graduados de modo a reduzir o volume da pasta que deve encher os espaços entre os agregados.

Suas granulometrias devem ser determinadas através de ensaios padronizados de peneiramento. A composição granulométrica é representada em uma curva tendo como abscissa as aberturas das peneiras e como ordenadas as respectivas porcentagens acumuladas.

A dosagem do concreto tem por finalidade determinar as proporções dos materiais a empregar de modo que sejam atendidas duas condições básicas: Resistência quando duro e Plasticidade enquanto fresco.

- Cálculo do traço em peso:

O cálculo do traço é, em geral, referido a um saco de cimento (50kg) e sua composição em peso. Sua composição pode ser expressa por:

1 = Cimento;

X = Água;

A = Agregado miúdo;

B = Agregado graúdo.

A resistência do concreto está diretamente associada à relação L/X também conhecida como Fator Água/Cimento que deve ser escolhido em função da resistência média aos 28 dias. A trabalhabilidade do concreto fresco depende da relação entre o peso da água e o peso dos materiais sólidos (cimento+agregados).

De acordo com Andolfato (2002), a massa dos agregados pode ser determinada pelas seguintes expressões:

$$B = 0,5 \cdot \frac{X}{Y} \text{ (Eq. 5.8.1)}$$

$$A = 0,5 \cdot \frac{X}{Y} - 1 \text{ (Eq. 5.8.2)}$$

O consumo de cimento, segundo o mesmo Andolfato (2002), pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$1000 - 1,5\% = C \cdot \left(\frac{1}{mc} + \frac{X}{mx} + \frac{A}{ma} + \frac{B}{mb} \right) \text{ (Eq. 5.8.3)}$$

Em que cada relação na parte direita representa o volume de cada material e a parte esquerda corresponde a 1000L menos 1,5% de ar em volume normalmente incorporado à mistura. Ainda pode-se considerar:

mc: Massa específica do cimento = 3,125kg/L;

mx: Massa específica da água = 1,0kg/L;

ma: Massa específica da areia = 2,6kg/L;

mb: Massa específica da brita = 2,75kg/L;

Desta forma, a expressão que fornece o peso de cimento para 1m³ resulta em:

$$C = \frac{985}{0,32 + X + 0,384 \cdot A + 0,364 \cdot B} \text{ (Eq. 5.8.4)}$$

Conhecendo-se a umidade (H) da areia, poderá ser obtida a quantidade de água na areia de um traço com peso C de cimento através da expressão:

$$X_{\text{areia}} = C \cdot A \cdot H \text{ (Eq. 5.8.5)}$$

A quantidade de água a acrescentar no traço, portanto, será de $X - X_{\text{areia}}$.

Especificamente para o trabalho em questão, podem ser calculados os valores importantes através dos seguintes passos:

- 1) $f_{ck28} = 15\text{MPa}$;
- 2) $\emptyset_{\text{máx}} = 25\text{mm}$ e concreto sem aditivo;
- 3) Para um rigoroso controle de qualidade, o valor da resistência média aos 28 dias pode ser determinado por:

$$f_{cm28} = f_{ck} + 6,5\text{MPa} = 21,5\text{MPa} \text{ (Eq. 5.8.6)}$$

- 4) Com o valor da resistência média, pode-se determinar o valor de X através da Tabela 5. Como não há valor de 21,5MPa na referida Tabela, deve ser feita a interpolação para que seja utilizada quantidade realmente necessária de cimento. O procedimento é usar uma regra de três com os valores imediatamente acima e abaixo do calculado:

$$\frac{22-20}{0,6-0,65} = \frac{22-21,5}{0,6-X} \therefore \frac{2}{-0,05} = \frac{0,5}{0,6-X} \therefore 1,2 - 2X = -0,025 \therefore X = 0,613 \text{ (Eq. 5.8.7)}$$

- 5) A partir dos dados fornecidos no item 2), tem-se $Y = 8,5\% = 0,085$.
- 6) Com os valores de X e Y, chega-se aos valores de A e B:

$$A = 0,5 \cdot \frac{0,613}{0,085} - 1 = 2,606 \text{ (Eq. 5.8.8)}$$

$$B = 0,5 \cdot \frac{0,613}{0,085} = 3,606 \text{ (Eq. 5.8.9)}$$

- 7) Assim está determinado o traço em peso: 1:2,606:3,606 (cimento:areia:brita).
- 8) O consumo de cimento por m^3 de concreto será de:

$$C = \frac{985}{0,32+0,613+0,384 \cdot 2,606+0,364 \cdot 3,606} = 303,42 \text{ kg/m}^3 \text{ (Eq. 5.8.10)}$$

- 9) Para o cálculo do traço em volume, adotar-se-á a massa específica para a areia com uma umidade de 3% de 1,4kg/L e para a brita de 1,3kg/L. A partir disto, pode-se calcular os volumes dos agregados para 1 saco de cimento:

$$\text{Areia: } \frac{2,606 \cdot 50}{1,4} = 93,07 \text{ L (Eq. 5.8.11)}$$

$$\text{Brita: } \frac{3,606 \cdot 50}{1,3} = 138,69 \text{ L (Eq. 5.8.12)}$$

- Por fim, com o objetivo de facilitar a confecção do concreto e considerando que a mudança terá caráter conservador e a favor da segurança, adotar-se-á, em vez de 1:2,606:3,606, o traço de 1:2:3 em massa.

5.9 Escolha dos ensaios técnicos de concreto e agregado

Sabe-se que o Brasil não dispõe de normas técnicas para a execução de concretos para fins não estruturais, especialmente para fins de calçadas ou passeios públicos. Isto ocorre, acredita-se, porque se trata de concretos cujas finalidades não resultam em risco direto para a população. Tanto é verdade que estes elementos construtivos podem ser executados livremente por leigos, sem que haja controle específico de qualidade. O controle mais rigoroso no que diz respeito às calçadas é feito para garantia de acessibilidade aos deficientes físicos.

Desta forma, há apenas especificações ou recomendações espalhadas pelo país que orientam o construtor na execução destes pavimentos. Um destes guias foi editado pelo CREA-MS e explicita de forma bastante clara que, de acordo com a Lei Municipal nº 2.909 de 28 de Julho de 1992 (Campo Grande), o proprietário do imóvel é responsável pela construção do passeio em frente ao seu lote e deverá mantê-lo

em perfeito estado de conservação. Este guia determina ainda as dimensões, faixas, rampas e até orienta quanto ao traço a ser utilizado para confeccionar o concreto.

Complementando o que diz a lei supracitada, o Regulamento da prestação dos serviços públicos de água e esgotos de Mirassol determina que é de responsabilidade da concessionária a execução de todos os serviços que compreendam os reparos e novas ligações de água ou esgoto, destacando-se a reposição do pavimento, seja ele em concreto ou asfalto, com as mesmas características do original.

Embasando-se nos argumentos apresentados nos parágrafos anteriores, optou-se por realizar os seguintes ensaios: Ensaio de Compressão axial e Ensaio de Tração do concreto.

5.9.1 Confeção dos traços e corpos de prova para realização dos ensaios (NBR 5738)

No dia 11/11/2010, foi realizada uma nova visita ao campus da USP em São Carlos com o objetivo de preparar os corpos de prova para realização dos ensaios de compressão axial e tração (ensaio brasileiro) a serem executados no Laboratório de Construção Civil vinculado à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

Antes da execução dos ensaios de resistência à compressão, deve-se atentar para o que descreve a NBR 5738/1994. Esta norma discorre sobre as condições para moldagem, desfôrma, preparação de topos, transporte e cura de corpos de prova cilíndricos de concreto. Para o caso específico dos ensaios que serão realizados, serão utilizados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 100mm de diâmetro e 200mm de altura. Moldados e curados, os corpos de prova poderão seguir para a realização dos ensaios.

Para tanto, foram necessários os seguintes equipamentos:

- Estufa;
- Vasilhas;
- Espátulas;
- Fôrmas de 10x20cm;
- Balança de precisão de bancada;
- Balança de precisão de grande porte;
- Betoneira;
- Baldes;
- Carro-de-mão;
- Colher de pedreiro;
- Mesa vibratória.

Figura 33 - Balança utilizada para pesagem dos componentes dos traços

Além dos referidos equipamentos, conforme cálculos explicitados no item 5.8 do presente trabalho foram utilizados água, areia grossa, brita nº01 e cimentos CII E32 e CII Z 32.

A escolha de 02 tipos diferente de cimentos – com escória e com pozolana – se deu pela ausência de material no laboratório e na cidade. Ocorre que no laboratório havia quantidade necessária para confecção de apenas três traços com CII E32. Como havia a necessidade de se confeccionar mais um traço, foi necessária a aquisição de mais um saco de cimento só que na cidade havia apenas CII Z32 para vender nas lojas de materiais de construção. Para solucionar o problema dos cimentos diferentes, optou-se por confeccionar os traços que receberiam o lodo com o CII E32 e o traço controle (padrão).

5.9.1.1 Obtenção da umidade do lodo

Como primeira ação para a confecção dos traços, foi separada uma amostra de lodo para obtenção da sua umidade. Vale destacar que o lodo utilizado neste ensaio foi aquele obtido da segunda coleta, uma vez que o oriundo da primeira havia sido utilizado nos ensaios de lixiviação e solubilização. O lodo da segunda coleta permaneceu menos tempo exposto ao sol. Esta amostra foi colocada numa vasilha e pesada. Tarou-se a balança com o peso da vasilha e obteve-se um $P_{úmido} = 1238,2g$ com $Tara = 1351,4g$. A amostra foi então encaminhada para a estufa onde permaneceu por um período de 24h.

Retirada a amostra da estufa, foi possível obter $P_{seco} = 1541g$. Para obtenção da umidade inicial do lodo, realizou-se o seguinte cálculo:

$$P_{água} = P_{úmido} + Tara - P_{seco} = 1238,2 + 1351,4 - 1541 \therefore P_{água} = 1048,6g \rightarrow Umidade = \frac{P_{água}}{P_{úmido}} = \frac{1048,6}{1238,2} \cong 84\% \text{ (Eq. 5.9.1)}$$

Isto quer dizer que após aproximadamente 15 dias exposta ao sol, a amostra perdeu apenas 16% de umidade.

Figura 34 - Amostra de lodo seca em estufa por 24 horas

5.9.1.2 Obtenção das massas dos materiais para os traços

Para confeccionar os traços foram necessários alguns cálculos com o objetivo de obter os pesos dos materiais a serem misturados. Sabe-se que, adotando-se corpos de prova de 10x20cm, ter-se-ia aproximadamente 3,90kg por corpo de prova. Sabendo-se ainda que seriam confeccionados 4 traços com 8 corpos de prova cada, ter-se-ia 31,2kg de concreto a serem produzidos. Adotando-se o traço de 1:2:3 calculado no item 5.8, para obtenção das massas a utilizar faz-se:

$$M_{\text{cimento}} = \frac{M_{\text{total}}}{6} \cdot 1 \therefore M_{\text{cimento}} = 5,2\text{kg} \text{ (Eq. 5.9.2)}$$

$$M_{\text{areia(padrão)}} = \frac{M_{\text{total}}}{6} \cdot 2 \therefore M_{\text{areia(padrão)}} = 10,4\text{kg} \text{ (Eq. 5.9.3)}$$

$$M_{\text{brita}} = \frac{M_{\text{total}}}{6} \cdot 3 \therefore M_{\text{brita}} = 15,6\text{kg} \text{ (Eq. 5.9.4)}$$

As massas obtidas anteriormente serão utilizadas para confecção do traço padrão que deverá obter resistência à compressão axial de 15MPa. Para os demais traços, utilizaram-se dosagens de 5, 10 e 20% de massa de lodo na massa de areia. Isto quer dizer que:

$$\text{Traço 1} \rightarrow M_{\text{lodo1}} = \text{Mareia}(\text{padrão}) \cdot 0,05 = 0,520\text{kg} \therefore \text{Mareia1} = 9,88\text{kg}$$

(Eq. 5.9.5)

$$\text{Traço 2} \rightarrow M_{\text{lodo2}} = \text{Mareia}(\text{padrão}) \cdot 0,1 = 1,04\text{kg} \therefore \text{Mareia2} = 9,36\text{kg} \quad (\text{Eq. 5.9.6})$$

$$\text{Traço 3} \rightarrow M_{\text{lodo3}} = \text{Mareia}(\text{padrão}) \cdot 0,2 = 2,08\text{kg} \therefore \text{Mareia3} = 8,32\text{kg} \quad (\text{Eq. 5.9.7})$$

Portanto, os traços ficaram da seguinte forma:

$$\text{Traço 1 (Cimento: Areia: Lodo: Brita)} - 5,2: 9,88: 0,52: 15,6\text{kg} \quad (\text{Eq. 5.9.8})$$

$$\text{Traço 2 (Cimento: Areia: Lodo: Brita)} - 5,2: 9,36: 1,04: 15,6\text{kg} \quad (\text{Eq. 5.9.9})$$

$$\text{Traço 3 (Cimento: Areia: Lodo: Brita)} - 5,2: 8,32: 2,08: 15,6\text{kg} \quad (\text{Eq. 5.9.10})$$

Na verdade, sabendo-se que a massa de lodo utilizada para os ensaios corresponde àquela úmida, têm-se:

$$\text{Traço 1: } M_{\text{lodoseco}} = M_{\text{lodo1}} \cdot 0,16 = 0,0832\text{kg} \rightarrow \text{Mágua1} = 0,4368\text{kg} = 0,4368\text{L} \quad (\text{Eq. 5.9.11})$$

$$\text{Traço 2: } M_{\text{lodoseco}} = M_{\text{lodo2}} \cdot 0,16 = 0,1664\text{kg} \rightarrow \text{Mágua2} = 0,8736\text{kg} = 0,8736\text{L} \quad (\text{Eq. 5.9.12})$$

$$\text{Traço 3: } M_{\text{lodoseco}} = M_{\text{lodo3}} \cdot 0,16 = 0,3328\text{kg} \rightarrow \text{Mágua3} = 1,7472\text{kg} = 1,7472\text{L} \quad (\text{Eq. 5.9.13})$$

5.9.1.3 Confecção dos traços

Para confecção dos traços foram utilizados os cálculos do tópico anterior de modo que cada material (cimento, areia e brita) tivesse suas quantidades necessárias separadas em 4 baldes contendo 31,2kg cada.

O roteiro seguido foi pesar material por material dispondo-o no balde posicionado em cima da balança. Cada traço foi devidamente identificado conforme pode ser observado na Figura 35.

Figura 35 – Traços separados antes do lançamento na betoneira

Levou-se então cada balde para a lateral do laboratório onde estava posicionada a betoneira. Estes materiais foram então lançados na betoneira onde foram misturados inicialmente a seco.

Figura 36 - Confecção dos traços em betoneira

Em seguida, adicionou-se o lodo e por fim, com o objetivo de simular o que ocorre no dia-a-dia na confecção de calçadas, a água foi sendo adicionada até que se percebesse, visualmente, que o concreto havia atingido o seu melhor ponto para desempenamento. Na verdade, somando-se estas quantidades àquelas já adicionadas junto com o lodo, cada traço recebeu mais água, o que resultou nos seguintes fatores água/cimento:

Tabela 5 - Quantidade de água adicionada por traço e fator a/c

TRAÇO	ÁGUA (L)	ÁGUA NO LODO (L)	ÁGUA TOTAL (L)	FATOR ÁGUA/CIMENTO
Padrão	3,20	0,00	3,20	0,62
5% de lodo	2,30	0,44	2,74	0,53
10% de lodo	2,20	0,87	3,07	0,59
20% de lodo	2,10	1,75	3,85	0,74

Para cada traço, foi confeccionado concreto necessário para a moldagem de 8 corpos-de-prova, isto é, foram obtidos 32 corpos-de-prova, sendo 16 para os ensaios de compressão axial e 16 para os ensaios de tração.

5.9.1.4 Confecção dos corpos-de-prova

A moldagem dos corpos-de-prova seguiu as orientações da NBR 5738, ou seja, foram separadas e untadas com óleo mineral as 32 fôrmas cilíndricas de 10x20cm. Todas ficaram dispostas em cima do balcão do laboratório conforme demonstrado na Figura 37:

Figura 37 - Fôrmas separadas para recebimento dos concretos

Após serem batidos na betoneira, cada um dos traços foi levado a mesa vibratória com o auxílio do carro-de-mão para que fossem moldados adequadamente (Figura 37).

Figura 38 - Vibração dos concretos

Depois de moldados e devidamente vibrados, os corpos-de-prova foram novamente dispostos no balcão e foram cobertos com chapas metálicas para reduzir

as perdas de água. No dia seguinte, após 24h da moldagem, os corpos-de-prova puderam ser desmoldados.

Figura 39 - Finalização da moldagem dos corpos-de-prova

O desmolde também deve seguir um roteiro bem definido porque se não for bem executado pode prejudicar a integridade dos corpos-de-prova e o restante dos ensaios. Primeiramente deve-se raspar com uma espátula o excesso de massa que passou e sujou a fôrma. Em seguida, vira-se a fôrma ao contrário e roda-se a manivela até afrouxar a parte cilíndrica. Depois, ergue-se a fôrma e o corpo-de-prova fica disposto em cima do balcão. O passo seguinte consiste na identificação com o auxílio de giz de cera em que são colocadas as informações de nº, data da confecção e traço.

Figura 40 - Desmolde de corpos-de-prova

Figura 41 - Desmolde de corpo-de-prova (continuação)

Figura 42 - Identificação de corpo-de-prova

Após o desmolde, cada traço tem 4 corpos-de-prova separados para o ensaio de tração e 4 corpos-de-prova separados para o ensaio de compressão axial. Os corpos-de-prova de números 1 a 4 de cada um dos traços foram utilizados para o ensaio de compressão axial e tiveram de ter a suas extremidades regularizadas através do capeamento com argamassa para posteriormente seguirem para a câmara úmida onde ocorre a cura. Já os corpos-de-prova de números 5 a 8 de cada traço foram utilizados para o ensaio de tração e puderam ir diretamente para a câmara úmida.

Os corpos-de-prova do ensaio de tração não tiveram a necessidade de serem capeados uma vez que a compressão diametral ocorre com o corpo-de-prova deitado e apoiado entre madeiras. Eles ficaram na câmara úmida por 28 dias quando foram executados os ensaios.

Figura 43 - Capeamento dos corpos-de-prova que serão submetidos ao ensaio de compressão axial

Figura 44 - Corpos-de-prova para ensaio brasileiro (compressão diametral) de tração

Figura 45 - Corpos-de-prova da compressão axial já capeados

Figura 46 - Corpos-de-prova na câmara úmida

5.9.2 Ensaio de Resistência à Compressão Axial (NBR 5739)

Considerando-se que, normalmente, as calçadas das residências são confeccionadas em concreto com resistência média à compressão de 10MPa, achou-se por bem encontrar uma dosagem de concreto que atingisse pelo menos 15MPa aos 28 dias.

A escolha de uma resistência superior do que aquela considerada média ocorre porque os locais onde são executados os serviços de saneamento tornam-se pontos mais susceptíveis a problemas uma vez que se caracterizarão pela presença de emendas e pela dificuldade de execução de uma adequada compactação do solo.

O ensaio de resistência à compressão axial é regido pela norma NBR 5739/1994 e sua realização deve seguir todos os passos que nela estão descritos a partir do item 4. A obtenção dos resultados seguirá o descrito no item 5.

Resumidamente, trata-se de um ensaio simples e rápido em que são necessários apenas os corpos-de-prova e uma prensa hidráulica que imponha a força sobre o mesmo. No caso específico deste trabalho, foi utilizada (Figuras 47 e 48) uma prensa da marca Alfred J. Amsler & Co revisada pela empresa Dinateste Indústria e Comércio.

Figura 47 - Placas que atestam a calibração e revisão da prensa utilizada nos ensaios

Figura 48 - Prensa utilizada nos ensaios de compressão axial e compressão diametral (ensaio brasileiro)

O ensaio teve início no dia 09/12 às 07:30h da manhã. Os corpos-de-prova foram retirados da câmara úmida e foram colocados em cima da bancada. Foram então separados entre aqueles que seriam usados para compressão axial e os que seriam utilizados para compressão diametral (Figura 49).

Figura 49 - Corpos-de-prova divididos entre compressão axial e compressão diametral

Para anotações dos resultados, foram utilizadas as planilhas de referência do laboratório de construção civil da EESC as quais estão anexadas no item 6.3 do presente trabalho em que são discutidos os resultados.

Um a um, os corpos-de-prova foram levados a prensa e rompidos conforme pode ser observado na Figura 50. Primeiramente, foram rompidos os corpos-de-prova referentes ao traço padrão, seguidos daqueles com 5%, 10% e 20%. Assim que ocorria o rompimento, a prensa registrava em seu marcador a força necessária para tal ação (Figura 51).

Figura 50 - Rompimento de corpo-de-prova em ensaio de compressão axial

Figura 51 - Registro do valor de força axial necessária para o rompimento de um dos corpos-de-prova

5.9.3 Ensaio de Tração na compressão diametral (*splitting test*)(NBR 7222)

Trata-se do ensaio mais utilizado para obtenção da resistência à tração de concretos. Ele é o mais utilizado por ser mais simples de executar uma vez que utiliza o mesmo corpo de prova cilíndrico do ensaio de resistência à compressão axial. É conhecido internacionalmente como “ensaio brasileiro” porque foi desenvolvido pelo Professor Fernando Luiz Lobo Carneiro em 1943.

Sua realização deve ser baseada na NBR 7222/1994 em que o corpo de prova cilíndrico é colocado com o eixo horizontal entre os pratos da máquina de ensaio de modo que o contato entre o corpo de prova e os pratos ocorra somente ao longo das duas geratrizes onde são afixadas duas tiras padronizadas de madeira diametralmente opostas conforme pode ser observado nas Figuras 52, 53, 54 e 55.

Figura 52 – Início da montagem do suporte para execução do ensaio

Figura 53 - Colocação da tira de madeira padronizada na parte superior do corpo de prova

Figura 54 - Colocação da faixa metálica

Figura 55 - Colocação do peso metálico

. Como desvantagem, o valor obtido neste ensaio é um pouco maior que o obtido no ensaio de tração direta, o que resulta em: $f_{ct} = 0,9f_{ct,sp}$. Isto significa que o valor de resistência real do concreto equivale a 90% do obtido neste ensaio.

O ensaio, assim como o de compressão axial, foi realizado no dia 09/12 e para a sua execução, foram necessários os seguintes materiais e equipamentos:

- Prensa hidráulica;
- Suporte prismático de alumínio para acomodação do corpo-de-prova em posição horizontal;
- Ganchos metálicos para fixação do corpo-de-prova;
- Pedacos (tiras) de madeira padronizados;
- Faixa metálica para distribuição uniforme dos esforços;
- Peso metálico cilíndrico;

Tendo início logo após o ensaio de compressão axial, os corpos-de-prova foram rompidos na mesma sequência do ensaio anterior: Padrão, 5%, 10% e 20%.

As Figuras 56, 57, 58 e 59 demonstram a sequência de execução do ensaio:

Figura 56 - Ajuste de posicionamento da prensa

Figura 57 - Aplicação da força diametralmente

Figura 58 - Corpo de prova rompido e aberto ao meio

Figura 59 - Registro da força de ruptura no marcador da prensa

Trata-se de um ensaio um pouco mais demorado que o de compressão axial porque envolve a montagem e desmontagem da parafernália para cada um dos corpos-de-prova (Figuras 52, 53, 54 e 55).

Um aspecto que merece destaque consiste no fato de que ao final do ensaio, o corpo-de-prova é rompido ao meio segundo sua direção longitudinal. Desta forma,

é possível observar a distribuição dos agregados no concreto e avaliar a qualidade de sua confecção através da presença ou não de vazios internos. Neste momento, não foi possível observar nenhuma variação entre os traços, demonstrando que os corpos de prova foram bem moldados e não apresentaram vazios importantes.

Figura 60 - Corpo de prova do traço padrão

Figura 61 - Corpo de prova L5%

Figura 62 - Corpo de prova L10%

Figura 63 - Corpo de prova L20%

6. RESULTADOS DISCUSSÕES

6.1 Características da Água Bruta

As características da água bruta foram obtidas através da cessão dos dados resultantes das análises anuais (2009) que devem, obrigatoriamente, ser realizadas pela empresa concessionária dos serviços públicos de água e esgoto do município de Mirassol.

Percebe-se que não foi constatada a presença de nenhum material que impossibilite a sua utilização como manancial de abastecimento público uma vez que a água bruta passa pelo processo convencional de tratamento com a utilização do Policloreto de Alumínio como coagulante. Mesmo assim, é importante destacar o resultado final do laudo que indica o não atendimento à Resolução CONAMA 357/2005 em 06 parâmetros:

- Oxigênio Dissolvido;
- Coliformes Termotolerantes;
- Alumínio Dissolvido;
- Ferro Dissolvido;
- Corantes;
- Resíduos Sólidos Objetáveis.

Estes resultados demonstram que, apesar de a captação ocorrer nas cabeceiras do rio São José dos Dourados, mais especificamente na área urbana do município de Mirassol, a qualidade da água bruta já é sensivelmente prejudicada pela ação de agentes antrópicos a montante. No tópico 9.1 pode ser observado na íntegra o laudo do laboratório.

6.2 Classificação dos resíduos

6.2.1 NBR 10.004/2004, NBR 10.005/2004 e NBR 10.006/2004

No item anterior, foi constatado que as análises da água bruta não determinaram a presença de substâncias que possam prejudicar o ser humano. Por outro lado, foi verificado também o não atendimento à resolução CONAMA 357/2005 para os parâmetros de OD, coliformes termotolerantes, alumínio dissolvido, ferro dissolvido e resíduos sólidos objetáveis o que denota a presença de ações antrópicas a montante da captação de águas superficiais.

Realizando-se as análises de metais para os extratos de lixiviado e solubilizado e seguindo-se o fluxograma apresentado na Figura 30 chega-se ao seguinte passo a passo:

- O resíduo tem origem conhecida;
- Não há no lodo substâncias que estejam presentes nos anexos A ou B da ABNT NBR 10.004/2004;
- Não há características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Como pode ser observado na Tabela 6, apesar de dispor de elementos constantes do anexo C da ABNT NBR 10.004/2004 (Chumbo, Cádmio, Níquel, Cromo, Prata e Bário), seus valores não ultrapassam os limites do anexo F no extrato lixiviado. Portanto, devido a este e ao item anterior, o resíduo não pode ser considerado perigoso (Classe I).
- Se o resíduo não é considerado Classe I, ele é automaticamente um resíduo Classe II – Não perigoso. Resta então determinar se ele é inerte ou não-inerte;

- Observando desta vez a Tabela 7, pode ser verificado que os valores de Cádmio, Chumbo, e Manganês ultrapassam os limites do anexo G da ABNT NBR 10.004/2004. Desta forma, fica claro que o resíduo em questão pode ser enquadrado como resíduo não perigoso e não inerte, ou seja, Classe II A.

Tabela 6 - Comparativo dos resultados dos ensaios de metais pesados para o extrato lixiviado do lodo da ETA Mirassol

METAL	LIXIVIAÇÃO				
	Resultado parcial (mg/L)	Branco (mg/L)	Resultado final (mg/L)	Limite Máximo (mg/L)	Situação
Alumínio	2,920	0,090	2,830	S/ limite	OK
Bário	7,720	0,030	7,690	70,00	OK
Cádmio	0,120	0,073	0,047	0,50	OK
Chumbo	0,810	0,510	0,300	1,00	OK
Cobre	0,003	0,003	0,000	S/ limite	OK
Cromo	0,175	0,175	0,000	5,00	OK
Ferro	0,569	0,178	0,391	S/ limite	OK
Manganês	2,130	0,003	2,127	S/ limite	OK
Níquel	0,170	0,091	0,079	S/ limite	OK
Prata	0,009	0,001	0,008	5,00	OK
Zinco	0,215	0,078	0,137	S/ limite	OK

Tabela 7 - Comparativo dos ensaios de metais pesados para o extrato solubilizado do lodo da ETA Mirassol

METAL	SOLUBILIZAÇÃO				
	Resultado parcial (mg/L)	Branco (mg/L)	Resultado final (mg/L)	Limite Máximo (mg/L)	Situação
Alumínio	0,110	0,090	0,020	0,200	OK
Bário	0,390	0,030	0,360	0,700	OK
Cádmio	0,100	0,073	0,027	0,005	FORA
Chumbo	0,720	0,510	0,210	0,010	FORA
Cobre	0,003	0,003	0,000	2,000	OK
Cromo	0,175	0,175	0,000	0,050	OK
Ferro	0,303	0,178	0,125	0,300	OK
Manganês	43,460	0,003	43,457	0,100	FORA
Níquel	0,118	0,091	0,027	S/ limite	OK
Prata	0,008	0,001	0,007	0,050	OK
Zinco	0,128	0,078	0,050	5,000	OK

Uma vez definida a classificação do lodo da ETA Mirassol, é importante discutir os teores tão elevados resultantes dos ensaios de metais para o extrato de solubilizado. De fato, conforme destacado na Tabela 7, há 5,4 vezes mais cádmio que o permitido, há 21 vezes mais chumbo que o permitido e há surpreendentes 434,57 vezes mais manganês que o permitido.

Os metais pesados encontram-se naturalmente nos solos em pequenas quantidades e assim, não causam grandes problemas ao homem ou ao meio ambiente. Contudo, em elevadas concentrações, constituem sérios riscos porque tem efeito tóxico e bioacumulativo.

Em seu trabalho, Walhroos e Ferreira (1999) destacam o fato de que o excesso de manganês na água traz o inconveniente de afetar sensivelmente a cor, exigindo maiores quantidades de coagulantes e operações como a aeração para a sua remoção. Ademais, os referidos autores citam que, apesar de o manganês não ter nenhum efeito sobre a saúde, ele está incluído na maioria dos padrões de potabilidade devido aos efeitos que produz na coloração da água.

Sabe-se que o manganês está presente em todos os tipos de solos e que, conseqüentemente, pode ser também encontrado em leitos de rios e fundos de lagos. Caso a concentração de oxigênio na água seja suficiente, o manganês permanecerá em sua forma insolúvel (valência +4) e por muitas vezes será encontrado precipitado nos lodos de lagos e rios. Em situações em que o oxigênio dissolvido na água se encontra em baixos teores, ocorre uma reação química que faz com que o manganês se solubilize, aparecendo sua versão com valência +2.

Este é exatamente o caso do lodo da ETA Mirassol, pois, como se origina de uma água bruta com baixos níveis de oxigênio dissolvido, o manganês se encontra dissolvido e deve ser precipitado com a utilização de coagulantes (neste caso o policloreto de alumínio). Uma vez precipitado, este manganês compõe junto com as demais impurezas removidas da AB o lodo classificado como Classe II A. É importante destacar que os teores de manganês podem variar de acordo com a época do ano a depender dos teores de oxigênio dissolvido, entretanto, não se pode

encontrar uma explicação precisa para este teor tão elevado no lodo da ETA Mirassol.

Além do manganês em teores elevados, foram observados altos valores de chumbo e cádmio. De acordo com Farias *et al* (2007), os efluentes industriais são as principais fontes de contaminação das águas dos rios por metais pesados. Indústrias metalúrgicas, de tintas, de cloro e de plásticos utilizam diversos materiais pesados em suas linhas de produção e acabam lançando parte deles nos cursos d'água.

Especificamente no caso de Mirassol, já foi abordado anteriormente no presente trabalho que a adutora de água bruta é constituída de ferro fundido com juntas de chumbo. Estas juntas eram bastante utilizadas no passado quando não havia as juntas flexíveis de plásticos. Seu uso foi interrompido devido a capacidade que o chumbo tem de se solubilizar, tornando-se, portanto, um agente de grande potencial de risco para a saúde das pessoas. Desta forma, entende-se que um dos grandes responsáveis pelo teor elevado de chumbo no lodo da ETA Mirassol é o material da própria adutora de AB.

Outra fonte importante de contaminação do ambiente por metais pesados, segundo Farias *et al* (2007) *apud* BRAYNER, 1998⁴, são os incineradores de lixo que provocam sua volatilização e formam cinzas ricas em metais, principalmente o mercúrio, o cádmio e o chumbo.

Analisando-se as UGRHI 15 e 18, respectivamente, Turvo-Grande e São José dos Dourados, no relatório anual das águas interiores do Estado de São Paulo destacam-se as atividades agroindustriais as quais poderiam contribuir com lançamentos de metais pesados. Há ainda curtumes que, se não estiverem sofrendo as devidas fiscalizações, podem gerar sérios problemas em termos de metais pesados.

⁴ BRAYNER, F. M. M. **Determinação de taxas de retenção de metais-traço por sedimentos orgânicos em um viveiro de piscicultura em área estuarina e urbana.** Tese (Doutorado). EESC/USP 1998

Levando-se em consideração ainda que cidades grandes contribuam nestas bacias e que estas cidades nem sempre dispõem de gerenciamento adequados dos resíduos sólidos, podem ocorrer sérios problemas de contaminação uma vez que o chorume oriundo da decomposição destes materiais também é um grande foco de metais pesados.

Entende-se, portanto, que as razões para os altos teores de cádmio, chumbo e manganês se devem as ações do homem na bacia de captação superficial para abastecimento público de Mirassol. Estas ações que por um lado propiciam o crescimento econômico variam desde a presença de curtumes a indústrias de transformação como a metalurgia. Por outro, causam sérios danos ao meio ambiente e até podem vir a prejudicar as próprias pessoas através do abastecimento público com água contaminada.

6.3 Ensaio de Compressão Axial e Compressão Diametral

Logo de início, no dia em que os corpos-de-prova foram rompidos, a primeira observação visual realizada nos mesmos após a sua retirada da câmara úmida possibilitou a constatação de que havia diferenças perceptíveis em termos de coloração (Figura 64 – Da esquerda para a direita, 20%, 10%, 5% e Padrão), ou seja, quanto mais lodo adicionado, mais avermelhado se encontrava o corpo-de-prova. A princípio, esta foi a única variação notada entre os diferentes traços. Conforme se observa na Figura 64, os corpos-de-prova se encontravam íntegros e sem falhas.

Figura 64 - Observação visual demonstrando variações de coloração

Os corpos-de-prova foram sendo rompidos e resultaram dos ensaios as forças utilizadas para o rompimento. Com base nesta força, foi possível obter os valores de f_{ck} . A prensa utilizada nos ensaios resultava valores em toneladas-força que tinham que ser divididos pela área de aplicação da força, no caso a área do círculo superior do corpo-de-prova cilíndrico ($78,54\text{cm}^2$), para a obtenção do resultado em MPa.

De modo geral, foi possível perceber que a inclusão do lodo composto com areia como agregado miúdo interfere sensivelmente nas resistências. Por outro lado, foi possível perceber que apesar de exercer influência nos resultados, a inclusão do lodo em momento algum reduziu as resistências para valores abaixo daqueles considerados referência para a compressão axial.

Hoppen *et al* (2006) realizaram um trabalho semelhante em que foi avaliada a incorporação do lodo da ETA Passaúna, localizada na região metropolitana de Curitiba em concreto. Além da compressão axial, foram avaliadas as variações de trabalhabilidade em termos da quantidade de lodo adicionado.

Os traços utilizados pelos referidos autores também diferiram um pouco dos utilizados no presente trabalho, porém, em ambos os trabalhos, a porcentagem de lodo em peso foi incorporada em substituição ao peso do agregado miúdo. Considerou-se 0%, 5%, 10% e 20% no presente trabalho e o supracitado autor considerou traços de 3%, 5%, 7% e 10%.

Outra diferença importante entre os trabalhos diz respeito à idade de ruptura dos corpos de prova uma vez que Hoppen *et al* (2006) considerou idades de 7, 14, 28 e 91 dias. No presente trabalho, por se tratar de utilização bastante específica, foi considerada apenas a idade de 28 dias quando o concreto apresenta cerca de 90% de sua resistência máxima.

Conforme justificado na metodologia, este trabalho visou reproduzir em laboratório aquilo que é realizado na prática do dia-a-dia para a confecção de concretos para recomposição de calçadas. Desta forma, a consistência do concreto fresco foi determinada visualmente, deixando-o fluido o suficiente para que o desempenamento ocorresse da forma mais facilitada possível. Em seu trabalho, Hoppen *et al* (2006) constataram que a consistência variou sensivelmente devido ao fato de que o lodo é constituído por uma grande parcela de partículas finas as quais apresentam maior superfície específica e por conseguinte, demanda mais água para o adensamento.

Já para a tração, como não há referências quando o objetivo é utilizar o concreto para calçadas, entende-se que os resultados também foram positivos, porém com menos representatividade do que aqueles obtidos nos ensaios de compressão. De fato, de acordo com os ensaios, o lodo exerceu mais influência na tração do que na compressão, principalmente quando se observa o resultado da utilização de 20% de lodo. Contudo,

Para análise efetiva dos dados obtidos após os ensaios, foi necessária a realização de um tratamento estatístico com a utilização do programa Microsoft Excel. O procedimento consistiu na obtenção da média e do desvio padrão para os dados referentes a cada traço. Foi montado então um intervalo de consistência representado em seu limite inferior pelo valor da média subtraído do valor do desvio padrão e no seu limite superior pelo valor da média somado ao valor do desvio padrão. Todos os dados que não se encontraram dentro deste intervalo foram considerados inconsistentes conforme as Tabelas 8 e 9 (compressão e tração respectivamente).

Tabela 8 - Tratamento estatístico dos dados obtidos com o ensaio de compressão axial

Corpo-de-prova	COMPRESSÃO							
	Traço (Toneladas-força)							
	Padrão		L5%		L10%		L20%	
	fck	Resultado	fck	Resultado	fck	Resultado	fck	Resultado
1	32,20	Descartar	27,90	Descartar	24,50	Manter	15,70	Manter
2	33,80	Manter	29,00	Manter	24,20	Descartar	15,90	Descartar
3	34,50	Descartar	29,50	Manter	24,70	Manter	15,50	Manter
4	33,20	Manter	29,70	Manter	25,30	Descartar	15,10	Descartar
Média	33,43		29,03		24,68		15,55	
Desvio Padrão	0,97		0,81		0,46		0,34	
Limite superior	34,40		29,83		25,14		15,89	
Limite inferior	32,45		28,22		24,21		15,21

Figura 65 - Resistências médias à compressão axial

Figura 66 - Resultados de compressão axial em função do teor de lodo adicionado ao concreto aos 28 dias
FONTE: Hoppen *et al* (2006)

Comparando-se as Figuras 65 e 66, percebe-se que, apesar de levarem em consideração os mesmos traços (1:2:3), os resultados para as resistências à compressão axial apresentaram resultados interessantes (Tabela 9). Para o traço padrão e para o com 5% de lodo, Hoppen *et al* (2006) obteve maiores resultados. Já

se considerando o traço com 10% de lodo, obteve valor bem menor, comparável ao valor obtido no presente trabalho para os 20% de lodo. Estes resultados ilustram claramente as variações decorrentes da peculiaridade de cada lodo e da influência que cada cimento exerce sobre o concreto que produz.

Tabela 9 – Comparativo entre as resistências à compressão equivalentes

TEORES DE LODO	PRESENTE TRABALHO	HOPPEN ET AL
0%	33	38
5%	29	33
10%	25	14

Ainda segundo Hoppen *et al* (2006), foi possível observar que, para o concreto fresco, a mistura torna-se mais exotérmica com o aumento do teor de lodo, porém, este aumento não denota defeitos superficiais visíveis nos corpos de prova. Trata-se de uma informação bastante relevante para a utilização estudada no presente trabalho porque, para confecção de calçadas que ficam expostas ao sol e conseqüentes variações de temperatura, a presença de trincas representaria um prejuízo grande em termos da satisfação do cliente que teve sua calçada recomposta.

Outro resultado interessante obtido por Hoppen *et al* (2006), diz respeito aos estudos de lixiviação dos corpos de prova em meio ácido. Estes resultados complementam os obtidos no presente trabalho para o lodo isoladamente em que foram constatados os metais pesados cádmio, chumbo e manganês em excesso. Segundo ele, os metais encontram-se encapsulados e não apresentam risco para o meio ambiente ou para a população em geral. Ele destaca que mesmo dobrando a quantidade de lodo no concreto, o teor de metais pesados não aumenta proporcionalmente, ficando, em alguns casos, praticamente inalterados.

Considerando-se a confecção de calçadas, acredita-se que a tração representa um esforço que sozinho não seria importante, mas que, somado aos esforços de compressão causa as rupturas e rachaduras em geral. Daí decorre a importância dos resultados explicitados na Tabela 10 e na Figura 67.

Tabela 10 - Tratamento estatístico dos dados obtidos com o ensaio de compressão diametral (Tração)

Corpo-de-prova	TRAÇÃO							
	Traço (Toneladas-força)							
	Padrão		L5%		L10%		L20%	
	fct	Resultado	fct	Resultado	fct	Resultado	fct	Resultado
5	2,98	Descartar	2,96	Manter	2,74	Manter	1,49	Descartar
6	3,43	Manter	2,80	Descartar	2,40	Manter	1,69	Manter
7	3,51	Manter	3,15	Manter	2,69	Manter	1,84	Descartar
8	3,40	Manter	3,13	Manter	2,38	Manter	1,60	Manter
Média	3,33		3,01		2,55		1,66	
Desvio Padrão	0,24		0,16		0,19		0,15	
Límite superior	3,57		3,17		2,74		1,80	
Límite inferior	3,09		2,85		2,36		1,51

Figura 67 - Resultados médios do ensaio de tração

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Atualmente, a busca por alternativas econômica e tecnicamente viáveis, além de ambientalmente vantajosas para a destinação final do lodo de ETA é um grande desafio. Sua utilização benéfica pode ser considerada uma oportunidade para aumentar a receita das empresas de saneamento e para reduzir custos e impactos ambientais associados a este resíduo (Hoppen et al, 2006).

Foi com este intuito que esta pesquisa foi realizada e ao seu final considera-se que os resultados obtidos foram bastante satisfatórios uma vez que demonstraram que o lodo da ETA Mirassol pode ser aproveitado como composto com areia como agregado miúdo na confecção de concretos para recomposição de calçadas.

As conclusões obtidas nesta pesquisa, para as condições operacionais estudadas e com o intuito de simular as situações do dia-a-dia, foram:

- 1) A estimativa obtida com base na bibliografia disponível para a geração de lodo pela ETA Mirassol foi de 2,5 toneladas por mês por decantador, totalizando 10 toneladas por mês.
- 2) O descarte *in natura* do lodo da estação de tratamento de água de Mirassol a qual utiliza o policloreto de alumínio como coagulante introduz no meio ambiente grandes quantidades de partículas coloidais e metais pesados com relevante potencial contaminante.
- 3) Foi possível secar bem as amostras ao sol da cidade de São Carlos que possui clima mais ameno que o da cidade de Mirassol de onde se originaram as amostras de lodo. Isto sugere que uma boa opção para realização da secagem do lodo da ETA Mirassol é a utilização de lagoas

de lodo. Estas lagoas, historicamente, apresentam algumas dificuldades quando projetadas em escala devido a não homogeneidade do resíduo resultante. Sugere-se, como o clima é favorável, a simulação de leitos de secagem ou drenagem devido ao menor tempo necessário para remoção da água.

- 4) O lodo da ETA Mirassol foi classificado como um resíduo classe II A, ou seja, um resíduo sólido não perigoso e não inerte devido aos teores elevados de cádmio, chumbo e, principalmente, manganês.
- 5) Uma vez curado o concreto, os metais encontram-se encapsulados e seu risco de contaminação é bastante reduzido, tornando-se esta uma alternativa bastante viável de utilização do lodo.
- 6) Foram obtidos valores de resistência à compressão axial que demonstram a viabilidade da utilização do lodo como agregado miúdo em concretos para calçada. Estes resultados para todos os teores de lodo estudados superaram a meta inicial traçada para 15MPa, o que indica potencial até para utilização do lodo em concreto para fins mais nobres.
- 7) Apesar de todos os teores superarem a meta para resistência à compressão axial, é importante destacar que a inclusão do lodo como agregado reduziu sensivelmente a resistência quando comparado ao traço padrão.
- 8) A resistência à compressão diametral, apesar de não se tratar de característica exclusivamente importante, apresentou resultados também viáveis em termos de utilização em calçadas. A mesma ressalva feita para a compressão deve ser feita para a tração uma vez que o aumento nos teores de lodo reduziu sensivelmente os valores desta resistência.

RECOMENDAÇÕES:

As recomendações resultantes desta pesquisa podem ser divididas em duas partes: a primeira, uma vertente mais técnica relacionada à confecção do concreto e aos processos de secagem e adensamento do lodo e a segunda mais voltada para a forma como a empresa concessionária dos serviços públicos de água e esgoto pode intervir na sua bacia de captação de águas superficiais para melhorar a qualidade de sua água bruta e conseqüentemente do lodo resultante de seu tratamento.

Recomendações técnicas:

- 1) Avaliar a possibilidade de reduzir a umidade do lodo através de um processo mais eficiente uma vez que a simulação da lagoa de lodo resultou em tempo elevado e baixa redução no teor de água.
- 2) Realizar ensaios de lixiviação e solubilização voltados aos metais pesados no concreto curado para efeito de confirmação do encapsulamento destes componentes.
- 3) Confeccionar o concreto com teores intermediários de lodo, ou seja, em torno dos 10% para minimizar os efeitos de redução nas resistências, principalmente à tração.
- 4) Realizar ensaios de abrasão para avaliar o efeito do lodo sobre esta propriedade importante para pisos de alto desempenho.
- 5) Analisar a possibilidade de utilizar traços mais magros, isto é, com menores quantidades de cimento para reduzir ainda mais o custo do concreto uma vez que há folga em termos de resistências quando comparadas às metas traçadas.

- 6) Atentar para a espessura do concreto de calçada que deve ser aproximadamente de 5cm.
- 7) Avaliar a possibilidade de se utilizar agregados graúdos com diâmetros menores. Eles apresentarão menores vazios a serem preenchidos pelos agregados miúdos e facilitarão o desempenho.

Recomendações para empresa concessionária:

- 1) Instalar processo de gerenciamento dos resíduos sólidos gerados na ETA Mirassol o mais rapidamente possível.
- 2) Recompôr a mata ciliar da barragem e da área à montante da mesma para evitar assoreamento na área de captação superficial.
- 3) Promover junto às prefeituras à montante de sua captação ações de conscientização para potenciais poluidores, principalmente ações voltadas ao setor dos resíduos sólidos (lixões) e indústrias de transformação.
- 4) Efetuar aeração prolongada para precipitar o máximo de manganês antes da decantação com o objetivo de reduzir os teores deste composto no lodo.
- 5) Substituir as juntas de chumbo da adutora de AB por juntas plásticas flexíveis ou, se houver condições financeiras, substituir a adutora por completo.
- 6) Efetuar limpezas de filtros e decantadores mecanicamente e em intervalos de tempo menores para reduzir a perda de água e melhorar a qualidade do lodo gerado.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDOLFATO, R. P. (2002) **Controle Tecnológico Básico do Concreto**. Apostila. Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira-SP.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2000) – ABNT. **NBR NM 26 Agregados – Amostragem**.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2003) – ABNT. **NBR NM 248 Agregados – Determinação da composição granulométrica**.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1996) – ABNT. **NBR NM 3310-1 Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação – Parte 1 – Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico**.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994) – ABNT. **NBR 5738 Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994) – ABNT. **NBR 5739 Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005) – ABNT. **NBR-7211 Agregados para concreto - Especificação**.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994) – ABNT. **NBR-7222 Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004) – ABNT. **NBR-10.004 Resíduos Sólidos - Classificação**.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004) – ANBT. **NBR-10.005 Resíduos Sólidos – Ensaio de Lixiviação**.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004) – ABNT. **NBR 10.006 Resíduos Sólidos – Ensaio de Solubilização**.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004) – ABNT. **NBR 10.007 Resíduos Sólidos – Amostragem.**
- BARBOSA, A. B. D.; MENDES, M. J.; BAYLÃO, T. W. S. (2003) **Emprego do Policloreto de alumínio em uma estação de filtração direta com água proveniente de manancial em processo de eutrofização.** In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1., Anais... Joinville-SC.
- BARROSO, M. M. (2002) **Problemática dos metais e sólidos no tratamento de água (Estação Convencional de Ciclo Completo) e nos resíduos gerados.** Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento. São Carlos-SP.
- BRASIL (1998) **Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1998.** Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. Disponível em <http://www.leidireto.com.br/lei-6938.html/>.
- BRASIL (1997) **Lei Federal Nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em <http://www.leidireto.com.br/lei-9433.html/>.
- BRASIL(1998) **Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998.** Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Disponível em <http://www.leidireto.com.br/lei-9605.html/>.
- BRASIL (2007) **Lei Federal Nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007.** Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em <http://www.leidireto.com.br/lei-11445.html/>.
- BRASIL. (2010) **Lei nº 12305 de 02 de Agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em <http://www.leidireto.com.br/lei-12305.html/>.
- BRASIL. (2004) **Ministério da Saúde –Portaria nº 518 de 25 de Março de 2004.** Disponível em <http://www.saneago.com.br/novasan/leis/port518.pdf/>.
- BRASIL (2004) **Ministério da Saúde – Manual de Saneamento Básico.**

- BRASIL. (2005) **Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente/CONAMA – Resolução nº 357 de 17 de Março de 2005.** Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res35705.pdf/>
- CETESB (2009) **Relatório Anual das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2008.** 528p. São Paulo-SP
- CHAO, I. R. S. (2006) **Remoção de fósforo de efluentes de estações de tratamento biológico de esgotos utilizando lodo de estação de tratamento de água.** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo-SP.
- CORDEIRO, J. S. (1999) **Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETA (Cap. 01).** In: Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de lodos de Estações de Tratamento de Água. PROSAB. ABES, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.
- CORDEIRO, J. S. (1999) **Remoção de água de lodos de ETA através de filtração forçada (Cap.05).** In: Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de lodos de Estações de Tratamento de Água. PROSAB. ABES, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.
- CORDEIRO, J. S. (1999) **Remoção natural de água de lodos de ETA utilizando leitos de secagem e lagoas de lodo (Cap. 06).** In: Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de lodos de Estações de Tratamento de Água. PROSAB. ABES, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.
- COSTA, A. J. C; COSTA, A. J. M; BARBOZA, M. G. **Contribuição para o uso racional de água em condomínios horizontais abastecidos por poços artesianos na cidade de Maceió – Estudo de caso no condomínio San Nicolás.** In: XXXI Congresso Interamericano AIDIS, Santiago, Chile, 2008.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM (1997) – DNER. **Norma Rodoviária DNER-ES 301/97. Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente.**
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM (1997) – DNER. **Norma Rodoviária DNER-ES 302/97. Pavimentação – Sub-base de solo melhorado com cimento.**

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM (1997) – DNER. **Norma Rodoviária DNER-ES 305/97. Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente**
- DI BERNARDO, L., SCALIZE, P. S., SOUZA FILHO, A. G. (1999) **Água de lavagem de filtros rápidos (Cap. 07)**. In: Noções Gerais de Tratamento e Disposição final de Lodos de Estações de Tratamento de Água. PROSAB. ABES, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.
- FARIAS, M. S. S.; LIMA, V. L. A.; NETO, J. D.; LEITE, E. P. F.; LIRA, V. M.; FRANCO, E. S. (2007) **Avaliação dos níveis de boro e chumbo na água do rio Cabelo – João Pessoa-PB**. Revista Engenharia Ambiental, v.4, n.1, p. 024-031, jan/jun.
- FERREIRA FILHO, S. S.; WAELKENS, B. E. (2009) **Minimização da produção de lodo no tratamento de águas de abastecimento mediante uso do cloreto de polialumínio e sua disposição em estações de tratamento de esgotos**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.14, n. 3, p. 317-326, jul/set.
- FERREIRA, B. S., REGO, V. B., CALIARI, P. C. (2009) **Caracterização de lodo de ETA para incorporação em concreto e fabricação de tijolos**. In: 2º ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA QUÍMICA, Salvador-BA.
- FORTES, R. M., MERIGHI, J. V., PAULI, D. R., BARROS, M. A. L., DE CARVALHO, M. H., MENETTI, N. C., BARBOSA JUNIOR, A. S, RIBEIRO F. V., BENTO, B. B. **Study of dry sludge stabilization from water treatment plants (WTP) in Taiaçupeba to use as compacted soil in earthwork ditches**. In: BCR2A09 – The 8th International Conference on the Bearing capacity of roads, railways and airfields, 2009, Urbana-Champaign. Bearing Capacity of roads, railways and airfields, A. K. Leiden, The Netherlands: CRC Press/Balkema , 2009. v.1 p.37-44.
- GOMES, H. P. (2004) **Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias**. João Pessoa-PB. 2ª Edição. 242p. Editora Universitária, UFPB.
- GRANDIN, S. (1992) **Desidratação de lodos produzidos em estações de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo-SP.

- HOPPEN, C., PORTELLA, K. F., ANDREOLI, C. V., SALES, A., JOUKOSKI, A. (2005) **Estudo de dosagem para incorporação de lodo de ETA em matriz de concreto como forma de disposição final**. In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Anais... Campo Grande-MS.
- HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; TRINDADE, E. M.; ANDREÓLI, C. V. (2006) **Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental**. In: Revista Química Nova, v. 29, n. 1, p. 79-84.
- JACOMASSI, F. E. (2009) **Estudo das micropropriedades de resíduos sólidos gerados nos decantadores de Estações de Tratamento de Água**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. São Carlos-SP.
- JANUÁRIO, G. F.; FERREIRA FILHO, S. S. (2007) **Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 12, n. 2, p.117-126, abr./jun.
- KAWAMURA, S. (1991) **Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment**. American Water Works Association, v. 83, n. 10, p. 88-91.
- CAMPO GRANDE-MS. (1992) **Lei Municipal nº 2.909 de 28 de julho de 1992**. Institui o Código de Polícia Administrativa do Município de Campo Grande-MS. Disponível através de livre acesso na web em: http://www.sglweb.com.br/sgl005ms_consulta2/lex_6.lbsp/
- MEGDA, C. R.; SOARES, L. V.; ACHON, C. L. (2005) **Propostas de aproveitamento de lodos gerados em ETAs**. In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Anais... Campo Grande-MS.
- MOREIRA, R. C. A., BOA VENTURA, G. R., NASCIMENTO, C. T. C., GUIMARÃES, E. M., OLIVEIRA, R. P. **Uso do lodo químico, rico em alumínio, produzido pela estação de tratamento de água Rio Descoberto para recuperação de uma área degradada**. In: Geochimica Brasiliensis, 21 (1) p. 022-035, 2007.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. COORDENAÇÃO DE SANEAMENTO (1994). **Manual de Saneamento**.

Brasília-DF. 2ª Edição. 256p. Coordenação de informação, educação e comunicação.

- PATRIZZI, L. J. (1998) **Redução de lodo gerado em decantadores de estações de tratamento de água (ETA) tradicionais, utilizando espessamento por flotação e por gravidade seguidos de centrifugação.** Dissertação (Mestrado). Departamento de Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos-SP.
- REALI, M. A. P., PATRIZZI, L. J., CORDEIRO, J. S. (1999) **Desidratação de lodo por centrifugação.** In: Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de lodos de Estações de Tratamento de Água. PROSAB. ABES, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.
- ROTH, D. K. et al (2008) **Implementing residuals management: costs implication for coagulation and softening plants.**Journal American Water Works Association, v. 100, n. 3, p. 81-93, mar. 2008.
- SÃO PAULO. (1973) **Lei Estadual nº 118 de 29 de junho de 1973.**Autoriza a constituição de uma sociedade por ações, sob a denominação de CETESB – Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle de Poluição das Águas. Disponível em:<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1973/lei%20n.118,%20de%2029.06.1973.htm/>.
- SÃO PAULO.(1976) **Lei Estadual nº 997 de 31 de maio de 1976.** Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1976/lei%20n.997,%20de%2031.05.1976.htm/>.
- SÃO PAULO. (2005) **Lei Estadual (SP) Nº 12.183 de 29 de dezembro de 2005.** Dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo, os procedimentos para a fixação dos seus limites, condicionantes e valores. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2005/lei%20n.12.183,%20de%2029.12.2005.htm/>.
- SCALIZE, P. S. (2003) **Disposição de resíduos gerados em estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto.** São Carlos-SP. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos-SP.

- SILVA, G. S. (2004) **Programas permanentes de uso racional da água em *campi* universitários: O programa de uso racional da água da Universidade de São Paulo**. Volume I. São Paulo
- VALÊNCIA, J. A. (2000) **Teoría y práctica de la purificación del agua**. 2ª Edición, 1155p. Editora McGraw Hill. Santafé de Bogotá, Colômbia
- WALHROOS, G.; FERREIRA, W. (1999) **Experiência em remoção de manganês através da coagulação com sulfato férrico**. In: 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Anais... Rio de Janeiro-RJ.

9. ANEXOS

9.1 Relatório de análise da AB (Resolução CONAMA 357/2005)

Como resultados das Análises de AB fornecidos pela empresa têm-se as Figuras 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75 e 76 (Laudo escaneado):

<p>TASQA Serviços Analíticos Ltda CNPJ 67.994.897/0001-97 Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia CEP 13140-000 – Paulínia – SP Fone/Fax: (19) 2138-8888 / (19) 2138-8885 Home Page: http://www.tasqa.com.br</p>	<p>RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 61661/2009-1.0</p>	<p>Data Emissão: 13/01/2010</p>
<p><u>DADOS DO CLIENTE</u> Cliente: Saneamento de Mirassol SANEASOL S/A CNPJ/CPF: 09.263.541/0001-87 Solicitante: Leandro Fernandes Endereço: Rua João Caetano Mendonça de Almeida, 2005 - Cidade: Mirassol - Bairro: São José - UF: SP - CEP: 15.130-000 - Caixa Postal: 15130-000 Proposta Comercial Nº: 4173/2009</p>			
<p><u>OBJETIVO</u> Determinações de Parâmetros do Artigo 15º da Resolução CONAMA 357 de 17 de Março de 2005 - Águas Doces - Classe 2</p>			
<p><u>DADOS DA AMOSTRA</u> Projeto Cliente: --- Identificação TASQA: 61661/2009-1.0 Identificação Cliente: Água Bruta - Captação Represa Municipal Estado Físico: Líquida Responsável pela Coleta: TASQA - Responsável pelo Transporte: TASQA Dt Coleta: 29/12/2009 09:28 - Dt Recebimento: 30/12/2009 08:00</p>			
<p><u>Análises Prioritárias</u> Dt Início: 30/12/2009 - Dt Término: 04/01/2010 <u>Análises Regulares</u> Dt Início: 30/12/2009 - Dt Término: 13/01/2010</p>			
<p><u>RESULTADOS:</u> Encontra(m)-se na(s) Tabela(s) da(s) página(s) seguinte(s) e refere-se exclusivamente à amostra analisada.</p>			
<p>“Este Relatório de Ensaio somente pode ser reproduzido na sua totalidade e sem alterações. A reprodução parcial requer aprovação escrita do Laboratório.”</p>			
<p><small>Laboratório Ambiental (CRL 0165): CNPJ 67.994.897/0001-97 – Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia - Paulínia (SP) - CEP 13140-000 Laboratório de Biologia (CRL 0166): CNPJ 67.994.897/0002-78 - Av. José Paulino, 1217 - Centro - Paulínia (SP) - CEP 13140-000 TASQA Serviços Analíticos Ltda - Ipatinga (CRL 0366): CNPJ 67.994.897/0003-59 - Rua Pero Vaz de Caminha, 329 A - Bom Retiro - Ipatinga (MG) - CEP 35160-238</small></p>			
<p>Página 1 de 9</p>			

Figura 68 - Relatório de análise de AB - Página 01

TASQA Serviços Analíticos Ltda
 CNPJ 67.994.897/0001-97
 Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia
 CEP 13140-000 – Paulínia – SP
 Fone/Fax: (19) 2138-8888 / (19) 2138-8885
 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>

RELATÓRIO DE ENSAIO

Nº 61661/2009-1.0

Amostra: 61661/2009-1.0

Artigo 15º da Resolução CONAMA 357 de 17 de Março de 2005 - Classe 2 - Águas Doces - Inorgânicos

Parâmetro	[CAS]	Unidade	Resultados ⁽³⁾	Incerteza Expandida ⁽²⁾	LQ ⁽¹⁾	Conama 357 - Artigo 15 VMP ⁽⁴⁾	Método
Alumínio Dissolvido	[7429-90-5]	mg/L	0,32	ND	0,07	0,1	SM21 3120 B
Antimônio	[7440-36-0]	mg/L	< LQ	ND	0,001	0,005	SM21 3120 B mod
Arsênio Total	[7440-38-2]	mg/L	< LQ	0,000048	0,001	0,01	SM21 3120 B mod
Bário Total	[7440-39-3]	mg/L	0,11	0,0051	0,005	0,7	SM21 3120 B
Berílio Total	[7440-41-7]	mg/L	< LQ	ND	0,002	0,04	SM21 3120 B
Boro Total	[7440-42-8]	mg/L	< LQ	0,00096	0,02	0,5	SM21 3120 B
Cádmio Total	[7440-43-9]	mg/L	< LQ	0,000082	0,0005	0,001	SM21 3113 B
Chumbo Total	[7439-92-1]	mg/L	< LQ	0,00028	0,002	0,01	SM21 3113 B
Cianeto Livre	---	mg/L	< LQ	0,000073	0,001	0,005	SM21 4500-CN C/4500-CN F
Cloreto Total	[16887-00-6]	mg/L	8,20	0,330	2	250	SM21 4500- Cl D
Cloro Residual Total (combinado+livre)	---	mg/L	< LQ	0,00	0,01	0,01	SM21 4500- Cl G
Cobalto Total	[7440-48-4]	mg/L	< LQ	ND	0,002	0,05	SM21 3120 B
Cobre Dissolvido	[7440-50-8]	mg/L	< LQ	ND	0,003	0,009	SM21 3120 B
Condutividade Elétrica	---	µS/cm	124	3,05	0,5	---	SM21 2510 B
Cor Verdadeira	---	Hazen	25,0	ND	5	75	SM21 2120 C
Corantes	---	---	Presente	ND	---	Ausente	---
Cromo Total	[7440-47-3]	mg/L	< LQ	0,000086	0,002	0,05	SM21 3120 B
DBO 5 dias a 20 C	---	mg/L	< LQ	0	3	5	SM21 5210 B
DQO	---	mg/L	7	1	5	---	SM21 5220 D
Fenóis Totais	[108-95-2]	mg/L C6H5OH	< LQ	0,00026	0,0025	0,003	EPA 9065
Ferro Dissolvido	[7439-89-6]	mg/L	1,26	0,0580	0,002	0,3	SM21 3120 B
Fluoreto Total	---	mg/L	0,15	0,0034	0,07	1,4	SM21 4500-F C
Fósforo Total	[7723-14-0]	mg/L	< LQ	ND	0,01	0,03	SM21 3120 B
Gosto	---	---	Não Objetável	NA	---	Virtualmente Ausente	---
Lítio Total	[7439-93-2]	mg/L	0,006	ND	0,002	2,5	SM21 3120 B
Manganês Total	[7439-96-5]	mg/L	0,06	0,0029	0,002	0,1	SM21 3120 B
Materiais Flutuantes	---	---	Ausente	NA	---	Virtualmente Ausente	SM21 2530 B
Mercurio Total	[7439-97-6]	mg/L	< LQ	0,00002	0,0001	0,0002	EPA 7470 A
Níquel Total	[7440-02-0]	mg/L	< LQ	0,00029	0,005	0,025	SM21 3120 B
Nitrato	---	mg/L	0,10	ND	0,10	10	SM21 4500- NO ₃ F
Nitrito	---	mg/L	0,009	ND	0,002	1	SM21 4500- NO ₂ B
Nitrogênio Amoniacal Total	[7664-41-7]	mg/L	0,49	0,00015	0,1	vide NOTAS	USEPA 440/5-85-001
Odor	---	---	Não Objetável	NA	---	Virtualmente Ausente	POP 80082
Óleos e Graxas	---	mg/L	Virtualmente Ausente	0,0040	0,5	Virtualmente Ausente	SM21 5520 B
Oxigênio Dissolvido	---	mg/L	3,4	0,034	0,1	> 5	SM21 4500-O G
pH	---	---	7,41	0,0309	0 - 14	6 - 9	SM21 4500- H ⁺ B
Prata Total	[7440-22-4]	mg/L	< LQ	0,00015	0,003	0,01	SM21 3120 B
Resíduo Sólido Objetável	---	---	Presente	NA	---	Virtualmente Ausente	---
Selênio Total	[7782-49-2]	mg/L	< LQ	0,00023	0,002	0,01	SM21 3113 B
Sólidos Dissolvidos Totais	---	mg/L	54,0	5,51	5	500	SM21 2540 C
Substâncias Tensioativas que reagem com o Azul de Metileno	---	mg/L LAS	< LQ	0,00084	0,40	0,5	SM21 5540 C

Laboratório Ambiental (CRL 0165): CNPJ 67.994.897/0001-97 – Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia - Paulínia (SP) - CEP 13140-000
 Laboratório de Biologia (CRL 0166): CNPJ 67.994.897/0002-78 - Av. José Paulino, 1217 - Centro - Paulínia (SP) - CEP 13140-000
 TASQA Serviços Analíticos Ltda - Ipatinga (CRL 0366): CNPJ 67.994.897/0003-59 - Rua Pero Vaz de Caminha, 329 A - Bom Retiro - Ipatinga (MG) - CEP 35160-238

Figura 69 - Relatório de análise de AB - Página 02

TASQA Serviços Analíticos Ltda
 CNPJ 67.994.897/0001-97
 Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia
 CEP 13140-000 – Paulínia – SP
 Fone/Fax: (19) 2138-8888 / (19) 2138-8885
 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>

RELATÓRIO DE ENSAIO

Nº 61661/2009-1.0

Amostra: 61661/2009-1.0

Artigo 15º da Resolução CONAMA 357 de 17 de Março de 2005 - Classe 2 - Águas Doces - Inorgânicos

Parâmetro	[CAS]	Unidade	Resultados ⁽³⁾	Incerteza Expandida ⁽²⁾	LQ ⁽¹⁾	Conama 357 - Artigo 15 VMP ⁽⁴⁾	Método
Sulfato Total	[14808-79-8]	mg/L	1,00	0,20	1,00	250	SM21 4500- SO ₄ ²⁻ E
Sulfeto	[18496-25-8]	mg/L	< LQ	ND	0,001	---	SM21 4500 S ²⁻ D
Sulfeto (H ₂ S não dissociado)	[18496-25-8]	mg/L	< LQ	ND	0,001	0,002	SM21 4500-S H
Temperatura	---	°C	24	0,6	---	---	SM21 2550 B
Turbidez	---	NTU	12,0	0,833	0,4	100	SM21 2130 B
Urânio Total	[7440-61-1]	mg/L	< LQ	ND	0,009	0,02	SM21 3120 B mod1
Vanádio Total	[7440-62-2]	mg/L	< LQ	ND	0,002	0,1	SM21 3120 B
Zinco Total	[7440-66-6]	mg/L	< LQ	0,00027	0,006	0,18	SM21 3120 B

Amostra: 61661/2009-1.0

Artigo 15º da Resolução CONAMA 357 de 17 de Março de 2005 - Classe 2 - Águas Doces - Microbiológicos

Parâmetro	[CAS]	Unidade	Resultados ⁽³⁾	Incerteza Expandida ⁽²⁾	LQ ⁽¹⁾	Conama 357 - Artigo 15 VMP ⁽⁴⁾	Método
Clorofila a	---	µg/L	< LQ	---	10,00	30	SM21 10200 H
Coliformes Termotolerantes	---	UFC/100mL	1,2 x 10 ³	---	1	1000	SM21 9222 D

Amostra: 61661/2009-1.0

Artigo 15º da Resolução CONAMA 357 de 17 de Março de 2005 - Classe 2 - Águas Doces - Orgânicos

Parâmetro	[CAS]	Unidade	Resultados ⁽³⁾	Incerteza Expandida ⁽²⁾	LQ ⁽¹⁾	Conama 357 - Artigo 15 VMP ⁽⁴⁾	Método
1,1-Dicloroetano	[75-35-4]	µg/L	< LQ	ND	2	3	EPA 8260 B
1,2-Dicloroetano	[107-06-2]	µg/L	< LQ	ND	4	10	EPA 8260 B
2,4,5-T	[93-76-5]	µg/L	< LQ	ND	1	2	EPA 8270 D
2,4,5-TP	[93-72-1]	µg/L	< LQ	ND	1	10	EPA 8270 D
2,4,6-Triclorofenol	[88-06-2]	µg/L	< LQ	ND	5	10	EPA 8270 D
2,4-D	[94-75-7]	µg/L	< LQ	ND	0,5	4	EPA 8270 D
2,4-Diclorofenol	[120-83-2]	µg/L	< LQ	ND	0,05	0,3	EPA 8270 D
2-Clorofenol	[95-57-8]	µg/L	< LQ	ND	0,05	0,1	EPA 8270 D
Acrilamida	[79-06-1]	µg/L	< LQ	ND	0,4	0,5	EPA 8032 A
Alacloro	[15972-60-8]	µg/L	< LQ	ND	1	20	EPA 8270 D
Aldrin + Dieldrin	[309-00-2][60-57-1]	µg/L	< LQ	ND	0,001	0,005	EPA 8081 B
Atrazina	[1912-24-9]	µg/L	< LQ	ND	1	2	EPA 8270 D
Benzeno	[71-43-2]	µg/L	< LQ	ND	2	5	EPA 8260 B
Benzidina	[92-87-5]	µg/L	< LQ	ND	0,001	0,001	EPA 8270 D
Benzo(a)antraceno	[56-55-3]	µg/L	< LQ	ND	0,05	0,05	EPA 8270 D
Benzo(a)pireno	[50-32-6]	µg/L	< LQ	ND	0,01	0,05	EPA 8270 D
Benzo(b)fluoranteno	[205-99-2]	µg/L	< LQ	ND	0,05	0,05	EPA 8270 D
Benzo(k)fluoranteno	[207-08-9]	µg/L	< LQ	ND	0,05	0,05	EPA 8270 D
Carbaryl	[63-25-2]	µg/L	< LQ	ND	0,01	0,02	EPA 8270 D
Clordano (cis + trans)	[5103-71-9][5103-74-2]	µg/L	< LQ	ND	0,01	0,04	EPA 8081 B
Criseno	[218-01-9]	µg/L	< LQ	ND	0,05	0,05	EPA 8270 D
DDT (p,p-DDT + p,p-DDE + p,p-DDD)	[72-54-8][72-55-9][50-29-3]	µg/L	< LQ	ND	0,002	0,002	EPA 8081 B
Demeton (Demeton-O + Demeton-S)	[298-03-3][126-75-0]	µg/L	< LQ	ND	0,01	0,1	EPA 822

Laboratório Ambiental (CRL 0165): CNPJ 67.994.897/0001-97 – Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia - Paulínia (SP) - CEP 13140-000
 Laboratório de Biologia (CRL 0166): CNPJ 67.994.897/0002-78 - Av. José Paulino, 1217 - Centro - Paulínia (SP) - CEP 13140-000
 TASQA Serviços Analíticos Ltda - Ipatinga (CRL 0366): CNPJ 67.994.897/0003-59 - Rua Pero Vaz de Caminha, 329 A - Bom Retiro - Ipatinga (MG) - CEP 35160-238

Página 3 de 9

Figura 70 - Relatório de análise de AB - Página 03

TASQA Serviços Analíticos Ltda
 CNPJ 67.994.897/0001-97
 Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia
 CEP 13140-000 – Paulínia – SP
 Fone/Fax: (19) 2138-8888 / (19) 2138-8885
 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>

RELATÓRIO DE ENSAIO

Nº 61661/2009-1.0

Amostra: 61661/2009-1.0

Artigo 15º da Resolução CONAMA 357 de 17 de Março de 2005 - Classe 2 - Águas Doces - Orgânicos

Parâmetro	[CAS]	Unidade	Resultados ⁽³⁾	Incerteza Expandida ⁽²⁾	LQ ⁽¹⁾	Conama 357 - Artigo 15 VMP ⁽⁴⁾	Método
Dibenzo(a,h)antraceno	[53-70-3]	µg/L	< LQ	ND	0,05	0,05	EPA 8270 D
Diclorometano	[75-09-2]	µg/L	< LQ	ND	2	20	EPA 8260 B
Dodecácloro pentaciclodecano	[2385-85-5]	µg/L	< LQ	ND	0,001	0,001	EPA 8081 B
Endossulfan (a + b + sulfato)	[959-98-8][33213-65-9][1031-07-6]	µg/L	< LQ	ND	0,002	0,056	EPA 8081 B
Endrin	[72-20-8]	µg/L	< LQ	ND	0,002	0,004	EPA 8081 B
Estireno	[100-42-5]	µg/L	< LQ	ND	2	20	EPA 8260 B
Etilbenzeno	[100-41-4]	µg/L	< LQ	ND	2	90	EPA 8260 B
Glifosato	[1071-83-8]	µg/L	< LQ	ND	60	65	EPA 547
Gutíon	[86-50-0]	µg/L	< LQ	ND	0,005	0,005	EPA 622
Heptacloro Epóxido + Heptacloro	[1024-57-3][76-44-8]	µg/L	< LQ	ND	0,01	0,01	EPA 8081 B
Hexaclorobenzeno	[118-74-1]	µg/L	< LQ	ND	0,002	0,0065	EPA 8081 B
Indeno(1,2,3-cd)pireno	[193-39-5]	µg/L	< LQ	ND	0,05	0,05	EPA 8270 D
Lindano (g-HCH)	[58-89-9]	µg/L	< LQ	ND	0,01	0,02	EPA 8081 B
Malation	[121-75-5]	µg/L	< LQ	ND	0,01	0,1	EPA 622
Metolacoloro	[51218-45-2]	µg/L	< LQ	ND	1	10	EPA 8270 D
Metoxicloro	[72-43-5]	µg/L	< LQ	ND	0,01	0,03	EPA 8081 B
Paration	[56-38-2]	µg/L	< LQ	ND	0,01	0,04	EPA 622
PCB's - Bifenilas policloradas	---	µg/L	< LQ	ND	0,001	0,001	EPA 8082
Pentaclorofenol	[87-86-5]	µg/L	< LQ	ND	1	9	EPA 8270 D
Simazina	[122-34-9]	µg/L	< LQ	ND	1	2	EPA 8270 D
Tetracloreto de Carbono	[56-23-5]	µg/L	< LQ	ND	2	2	EPA 8260 B
Tetracloroeteno	[127-18-4]	µg/L	< LQ	ND	2	10	EPA 8260 B
Tolueno	[108-88-3]	µg/L	< LQ	ND	2	2	EPA 8260 B
Toxafeno	[8001-35-2]	µg/L	< LQ	ND	0,01	0,01	EPA 8081 B
Tributílestanho	688-73-3	µg/L	< LQ	ND	0,01	---	EPA 282.3
Triclorobenzeno (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB)	[87-61-6][120-82-1]	µg/L	< LQ	ND	4	20	EPA 8260 B
Tricloroeteno	[79-01-6]	µg/L	< LQ	ND	4	30	EPA 8260 B
Trifluralina	[1582-09-8]	µg/L	< LQ	ND	0,1	0,2	EPA 8270 D
Xileno	[108-38-3][106-42-3][95-47-6]	µg/L	< LQ	ND	2	300	EPA 8260 B

Traçador (Surrogate) - Recuperação na Amostra (%)

Parâmetro	Resultado da recuperação (%) ⁽⁵⁾	Faixa aceitável de recuperação (%)
2-Fluorifenil	73	70 - 130
4-Bromofluorbenzeno (VOC)	92	70 - 130

CONTROLE DE QUALIDADE ANALÍTICO

SVOC (EPA 8270)-(Conama 357)

63560/2009-10 - Branco

Parâmetro	[CAS]	Unidade	Branco ⁽³⁾
2,4,5-T	[93-76-5]	µg/L	< LQ

Laboratório Ambiental (CRL 0165): CNPJ 67.994.897/0001-97 – Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia - Paulínia (SP) - CEP 13140-000
 Laboratório de Biologia (CRL 0166): CNPJ 67.994.897/0002-78 - Av. José Paulino, 1217 - Centro - Paulínia (SP) - CEP 13140-000
 TASQA Serviços Analíticos Ltda - Ipatinga (CRL 0366): CNPJ 67.994.897/0003-59 - Rua Pero Vaz de Caminha, 329 A - Bom Retiro - Ipatinga (MG) - CEP 35160-238

Página 4 de 9

Figura 71 - Relatório de análise de AB - Página 04

TASQA Serviços Analíticos Ltda
 CNPJ 67.994.897/0001-97
 Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia
 CEP 13140-000 – Paulínia – SP
 Fone/Fax: (19) 2138-8888 / (19) 2138-8885
 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>

RELATÓRIO DE ENSAIO

Nº 61661/2009-1.0

SVOC (EPA 8270)-(Conama 357)

63560/2009-10 - Branco

Parâmetro	[CAS]	Unidade	Branco ⁽³⁾
2,4,5-TP	[93-72-1]	µg/L	< LQ
2,4,6-Triclorofenol	[88-06-2]	µg/L	< LQ
2,4-D	[94-75-7]	µg/L	< LQ
2,4-Diclorofenol	[120-83-2]	µg/L	< LQ
2-Clorofenol	[95-57-8]	µg/L	< LQ
Alacloro	[15972-60-8]	µg/L	< LQ
Atrazina	[1912-24-9]	µg/L	< LQ
Benzidina	[92-87-5]	µg/L	< LQ
Benzo(a)antraceno	[56-55-3]	µg/L	< LQ
Benzo(a)pireno	[50-32-8]	µg/L	< LQ
Benzo(b)fluoranteno	[205-99-2]	µg/L	< LQ
Benzo(k)fluoranteno	[207-08-9]	µg/L	< LQ
Carbanil	[63-25-2]	µg/L	< LQ
Criseno	[218-01-9]	µg/L	< LQ
Dibenzo(a,h)antraceno	[53-70-3]	µg/L	< LQ
Indeno(1,2,3-cd)pireno	[193-39-5]	µg/L	< LQ
Metolacoloro	[51218-45-2]	µg/L	< LQ
Pentaclorofenol	[87-86-5]	µg/L	< LQ
Simazina	[122-34-9]	µg/L	< LQ

Traçador (Surrogate) - Recuperação no Branco (%)

Parâmetro	Resultado da recuperação (%) ⁽⁵⁾	Faixa aceitável de recuperação (%)
2-Fluorbifenil	70	70 - 130

VOC (EPA 8260)-(Conama 357)

64849/2009-10 - Branco

Parâmetro	[CAS]	Unidade	Branco ⁽³⁾
1,1-Dicloroetano	[75-35-4]	µg/L	< LQ
1,2-Dicloroetano	[107-06-2]	µg/L	< LQ
Benzeno	[71-43-2]	µg/L	< LQ
Diclorometano	[75-09-2]	µg/L	< LQ
Estireno	[100-42-5]	µg/L	< LQ
Etilbenzeno	[100-41-4]	µg/L	< LQ
Tetracloro de Carbono	[56-23-5]	µg/L	< LQ
Tetracloroetano	[127-18-4]	µg/L	< LQ
Tolueno	[108-88-3]	µg/L	< LQ
Tricloroetano	[79-01-6]	µg/L	< LQ

Traçador (Surrogate) - Recuperação no Branco (%)

Parâmetro	Resultado da recuperação (%) ⁽⁵⁾	Faixa aceitável de recuperação (%)
4-Bromofluorbenzeno (VOC)	94	70 - 130

Laboratório Ambiental (CRL 0165): CNPJ 67.994.897/0001-97 – Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia - Paulínia (SP) - CEP 13140-000
 Laboratório de Biologia (CRL 0166): CNPJ 67.994.897/0002-78 - Av. José Paulino, 1217 - Centro - Paulínia (SP) - CEP 13140-000
 TASQA Serviços Analíticos Ltda - Ipatinga (CRL 0366): CNPJ 67.994.897/0003-59 - Rua Pero Vaz de Caminha, 329 A - Bom Retiro - Ipatinga (MG) - CEP 35160-238

Figura 72 - Relatório de análise de AB - Página 05

TASQA Serviços Analíticos Ltda
CNPJ 67.994.897/0001-97
Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia
CEP 13140-000 – Paulínia – SP
Fone/Fax: (19) 2138-8888 / (19) 2138-8885
Home Page: <http://www.tasqa.com.br>

RELATÓRIO DE ENSAIO

Nº 61661/2009-1.0

VOC (EPA 8260)-{Conama 357}

64850/2009-1.0 - Branco Fortificado

Parâmetro	[CAS]	Recuperação em branco fortificado (%) ⁽³⁾
Benzeno	[71-43-2]	103
Etilbenzeno	[100-41-4]	89
Tolueno	[108-88-3]	103
m + p-Xileno	[108-38-3] [106-42-3]	97
o-Xileno	[95-47-6]	99

Traçador (Surrogate) - Recuperação no Branco Fortificado (%)

Parâmetro	Resultado da recuperação (%) ⁽⁵⁾	Faixa aceitável de recuperação (%)
4-Bromofluorbenzeno (VOC)	83	70 - 130

Glifosato

65313/2009-10 - Branco Glifosato

Parâmetro	[CAS]	Unidade	Branco ⁽³⁾
Glifosato	[1071-83-6]	µg/L	< LQ

Glifosato

65314/2009-1.0 - Branco Fortificado Glifosato

Parâmetro	[CAS]	Recuperação em branco fortificado (%) ⁽³⁾
Glifosato	[1071-83-6]	111

Acrilamida

65321/2009-10 - Branco Acrilamida

Parâmetro	[CAS]	Unidade	Branco ⁽³⁾
Acrilamida	[79-06-1]	µg/L	< LQ

Acrilamida

65322/2009-1.0 - Branco Fortificado Acrilamida

Parâmetro	[CAS]	Recuperação em branco fortificado (%) ⁽³⁾
Acrilamida	[79-06-1]	93

Metais ICP

65349/2009-1.0 - Branco Metais ICP

Parâmetro	[CAS]	Unidade	Branco ⁽³⁾
Arsênio Total	[7440-38-2]	mg/L	< 0,04
Bário Total	[7440-39-3]	mg/L	< 0,005
Berílio Total	[7440-41-7]	mg/L	< 0,002

Laboratório Ambiental (CRL 0165): CNPJ 67.994.897/0001-97 – Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia - Paulínia (SP) - CEP 13140-000
Laboratório de Biologia (CRL 0166): CNPJ 67.994.897/0002-78 - Av. José Paulino, 1217 - Centro - Paulínia (SP) - CEP 13140-000
TASQA Serviços Analíticos Ltda - Ipatinga (CRL 0366): CNPJ 67.994.897/0003-59 - Rua Pero Vaz de Caminha, 329 A - Bom Retiro - Ipatinga (MG) - CEP 35160-238

Página 6 de 9

Figura 73 - Relatório de análise de AB - Página 06

TASQA Serviços Analíticos Ltda
 CNPJ 67.994.897/0001-97
 Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia
 CEP 13140-000 – Paulínia – SP
 Fone/Fax: (19) 2138-8888 / (19) 2138-8885
 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>

RELATÓRIO DE ENSAIO

Nº 61661/2009-1.0

Metais ICP

65349/2009-1.0 - Branco Metais ICP

Parâmetro	[CAS]	Unidade	Branco ⁽³⁾
Boro Total	[7440-42-8]	mg/L	< 0,02
Cobalto Total	[7440-48-4]	mg/L	< 0,002
Cromo Total	[7440-47-3]	mg/L	< 0,002
Fósforo Total	[7723-14-0]	mg/L	< 0,011
Manganês Total	[7439-96-5]	mg/L	< 0,002
Níquel Total	[7440-02-0]	mg/L	< 0,005
Prata Total	[7440-22-4]	mg/L	< 0,003
Vanádio Total	[7440-62-2]	mg/L	< 0,002
Zinco Total	[7440-66-6]	mg/L	< 0,006

Metais ICP

65350/2009-10 - Branco Fortificado Metais ICP

Parâmetro	[CAS]	Recuperação em branco fortificado (%) ⁽³⁾
Arsênio Total	[7440-38-2]	112
Bário Total	[7440-39-3]	97
Berílio Total	[7440-41-7]	99
Cobalto Total	[7440-48-4]	99
Cromo Total	[7440-47-3]	96
Lítio Total	[7439-93-2]	86
Manganês Total	[7439-96-5]	99
Níquel Total	[7440-02-0]	97
Vanádio Total	[7440-62-2]	97
Zinco Total	[7440-66-6]	97

Metais AAS

65352/2009-1.0 - Branco Metais AAS

Parâmetro	[CAS]	Unidade	Branco ⁽³⁾
Mercurio Total	[7439-97-6]	mg/L	< 0,0001

Metais AAS

65351/2009-10 - Branco Fortificado Metais AAS

Parâmetro	[CAS]	Recuperação em branco fortificado (%) ⁽³⁾
Mercurio Total	[7439-97-6]	92

Coliformes Termotolerantes/Fecais

65958/2009-1.0 - CQ - Coliformes Termotolerantes/Fecais

Parâmetro	Resultado	Unidade	Critério de Aceitabilidade
Branco 1 (Meio de cultura m-FC Ágar) - Lote: 047/09	Negativo	---	Negativo

Laboratório Ambiental (CRL 0165): CNPJ 67.994.897/0001-97 – Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia - Paulínia (SP) - CEP 13140-000
 Laboratório de Biologia (CRL 0166): CNPJ 67.994.897/0002-78 - Av. José Paulino, 1217 - Centro - Paulínia (SP) - CEP 13140-000
 TASQA Serviços Analíticos Ltda - Ipatinga (CRL 0366): CNPJ 67.994.897/0003-59 - Rua Pero Vaz de Caminha, 329 A - Bom Retiro - Ipatinga (MG) - CEP 35160-238

Página 7 de 9

Figura 74 - Relatório de análise de AB - Página 07

TASQA Serviços Analíticos Ltda
 CNPJ 67.994.897/0001-97
 Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia
 CEP 13140-000 – Paulínia – SP
 Fone/Fax: (19) 2138-8888 / (19) 2138-8885
 Home Page: <http://www.tasqa.com.br>

RELATÓRIO DE ENSAIO

Nº 61661/2009-1.0

Coliformes Termotolerantes/Fecais

65958/2009-1.0 - CQ - Coliformes Termotolerantes/Fecais

Parâmetro	Resultado	Unidade	Critério de Aceitabilidade
Branco 2 (Meio de cultura + membrana) - Lote: F9EN82385	Negativo	---	Negativo
Controle da Água Tamponada (CT) - Lote: 300/09;301/09	< 1	UFC/100 mL	< 1
Controle Negativo (<i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 19433) - Lote: 001/09 - N° ampola: 148/316	Negativo	---	Negativo
Controle Positivo (<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922) - Lote: 001/09 - N° ampola: 024/310	Positivo	---	Positivo

Metais AAS/FG

2703/2010-1.0 - Branco Metais AAS/FG

Parâmetro	[CAS]	Unidade	Branco ⁽³⁾
Cádmio Total	[7440-43-9]	mg/L	< 0,0005
Chumbo Total	[7439-92-1]	mg/L	< 0,002
Selênio Total	[7782-49-2]	mg/L	< 0,002

Metais AAS/FG

2702/2010-10 - Branco Fortificado Metais AAS/FG

Parâmetro	[CAS]	Recuperação em branco fortificado (%) ⁽³⁾
Cádmio Total	[7440-43-9]	90
Chumbo Total	[7439-92-1]	95
Selênio Total	[7782-49-2]	101

Notas:

⁽¹⁾ LQ = Limite de Quantificação.

⁽²⁾ A incerteza expandida (U) relatada é baseada na incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência k=2, para um nível de confiança de 95%.

ND = Incerteza não determinada / NA = Incerteza não se aplica.

⁽³⁾ A forma de expressão dos resultados pode contemplar também: NA = Não Avaliado / ND = Não Detectado.

⁽⁴⁾ VMP = Valor Máximo Permitido.

⁽⁵⁾ NA = Não Avaliado devido a interferentes da matriz.

⁽⁶⁾ Spike = Adição de uma concentração conhecida de uma solução padrão a uma amostra, submetida a todo o processo analítico (realizado em paralelo a análise da amostra sem adição do padrão) para avaliação do efeito matriz.

Métodos

- ✓ SM21 = Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21th Edition 2005.
- ✓ SM21 = Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21th Edition 2005.
- ✓ SM21 3120 B = quantificação de elementos por espectrometria de emissão atômica em plasma de argônio indutivamente acoplado, em extratos aquosos, e similar ao método de quantificação EPA 6010 B, após digestão ácida em sistema fechado com aquecimento por microondas pelos métodos EPA 3015 para amostras líquidas e EPA 3052 para amostras sólidas.
- ✓ SM21 3120 B mod = quantificação de elementos na forma de hidreto por espectrometria de emissão atômica em plasma de argônio indutivamente acoplado, em extratos aquosos submetidos a etapa de geração do hidreto, após digestão ácida em sistema fechado com aquecimento por microondas pelos métodos EPA 3015 para amostras líquidas e EPA 3052 para amostras sólidas.
- ✓ SM21 3120 B mod1 = quantificação de elementos por espectrometria de emissão atômica em plasma de argônio indutivamente acoplado, em extratos aquosos pré-concentrados por evaporação do solvente, após digestão ácida em sistema fechado com aquecimento por microondas pelos métodos EPA 3015 para amostras líquidas e EPA 3052 para amostras sólidas.
- ✓ SM21 3113 B = quantificação de elementos por espectrometria de absorção atômica pela técnica de atomização eletrotérmica, em extratos aquosos, após digestão ácida em sistema fechado com aquecimento por microondas pelos métodos EPA 3015 para amostras líquidas e EPA 3052 para amostras sólidas.
- ✓ EPA = Environmental Protection Agency.
- ✓ EPA = Environmental Protection Agency.
- ✓ EPA 7470 A = quantificação do vapor de mercúrio por espectrometria de absorção atômica, gerado após redução do mercúrio com solução de cloreto estano e arraste do vapor por fluxo de argônio até a cubeta no caminho ótico. O extrato de leitura foi obtido por digestão ácida em sistema fechado com aquecimento por microondas pelos métodos EPA 3015 para amostras líquidas e EPA 3052 para amostras sólidas.

Parâmetros

Laboratório Ambiental (CRL 0165): CNPJ 67.994.897/0001-97 – Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia - Paulínia (SP) - CEP 13140-000
 Laboratório de Biologia (CRL 0166): CNPJ 67.994.897/0002-78 - Av. José Paulino, 1217 - Centro - Paulínia (SP) - CEP 13140-000
 TASQA Serviços Analíticos Ltda - Ipatinga (CRL 0366): CNPJ 67.994.897/0003-59 - Rua Pero Vaz de Caminha, 329 A - Bom Retiro - Ipatinga (MG) - CEP 35160-238

Página 8 de 9

Figura 75 - Relatório de análise de AB - Página 08

TASQA Serviços Analíticos Ltda CNPJ 67.994.897/0001-97 Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia CEP 13140-000 – Paulínia – SP Fone/Fax: (19) 2138-8888 / (19) 2138-8885 Home Page: http://www.tasqa.com.br	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 61661/2009-1.0	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ CLORO RESIDUAL TOTAL: Medida de Campo. ✓ COLIFORMES TERMOTOLERANTES: Validade: 24h após a coleta. O resultado expresso como < LQ (< 1) é equivalente a "Ausente". Resultados superiores a 9 são expressos em notação científica. Exemplo: $4,2 \times 10^3 = 42000$. UFC = Unidade Formadora de Colônia. ✓ DBO: Referente à análise de Demanda Química de Oxigênio (DBO) realizada utilizamos o controle de semente conforme descrito no método SM 21 5210 B. ✓ FENÓIS TOTAIS: Substâncias que reagem com 4-Aminoantipirina. ✓ FÓSFORO TOTAL (Artigo 14º e 15º - Conama 357): Até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico. ✓ MATERIAIS FLUTUANTES: Validade: 24h após a coleta. ✓ NITRATO: Validade: 48h após a coleta. ✓ NITRITO: Validade: 48h após a coleta. ✓ NITROGÊNIO AMONIAICAL TOTAL (Artigo 14º e 15º - Conama 357): 3,7 mg/L N, para $pH \leq 7,5$; 2,0 mg/L N, para $7,5 < pH \leq 8,0$; 1,0 mg/L N, para $8,0 < pH \leq 8,5$; 0,5 mg/L N, para $pH > 8,5$. ✓ ÓLEOS E GRAXAS: Validade: 24h após a coleta. ✓ OXIGÊNIO DISSOLVIDO: Medida de Campo. ✓ pH: Medida de Campo. ✓ RESÍDUO SÓLIDO OBJETÁVEL: Validade: 24h após a coleta. ✓ TEMPERATURA: Medida de Campo. ✓ TURBIDEZ: Validade: 24h após a coleta. 			
<p>Interpretação dos Resultados COLIFORMES TERMOTOLERANTES: O resultado da análise de Coliformes Termotolerantes foi estimado em função do crescimento bacteriano encontrar-se abaixo/acima da faixa de contagem de colônias (20-60UFC) nos volumes filtrados na análise.</p>			
<p>Observações ✓ Coliformes Termotolerantes: Arts 4, 15, 18, 21 CONAMA 357. Para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA no 274, de 2000.</p>			
<p>>>> As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste Laboratório <<<</p>			
<p>INTERPRETAÇÃO: A amostra não atende aos Padrões do(a) Artigo 15 do CONAMA 357 em relação ao(s) parâmetro(s) analisado(s) Oxigênio Dissolvido, Coliformes Termotolerantes, Alumínio Dissolvido, Ferro Dissolvido, Corantes, Resíduo Sólido Objetável.</p>			
<p>Resultado conferido e aprovado eletronicamente por:</p>
Sheila Vilas Boas Fraga Supervisora Lab. Biologia CRBio 36678/5-D	Vivian Rafaela Koenig Supervisora Lab. Orgânica CRQ 04449813 - 4ª Região	Kátia F. Aires Bergamini Supervisora Lab. Análise Metais/LAA CRQ 04452453 - 4ª Região	Ronaldo Secomandi Supervisor Lab. Via Úmida/Potenc. CRQ 04458691 - 4ª Região
<p>Laboratório Ambiental (CRL 0165): CNPJ 67.994.897/0001-97 – Praça 28 de Fevereiro, 55 – Nova Paulínia - Paulínia (SP) - CEP 13140-000 Laboratório de Biologia (CRL 0166): CNPJ 67.994.897/0002-78 - Av. José Paulino, 1217 - Centro - Paulínia (SP) - CEP 13140-000 TASQA Serviços Analíticos Ltda - Ipatinga (CRL 0366): CNPJ 67.994.897/0003-59 - Rua Pero Vaz de Caminha, 329 A - Bom Retiro - Ipatinga (MG) - CEP 35160-238</p>			
<p>Página 9 de 9</p>			

Figura 76 - Relatório de análise de AB - Página 09

9.2 Fichas resultantes dos ensaios de compressão axial e diametral

Neste tópico podem ser observadas as fichas de controle utilizadas pelo LCC da EESC para controle dos ensaios. Nelas podem ser identificadas a data de moldagem, a data de ruptura, a idade do concreto, a carga de ruptura e por fim, o f_{ck} resultante dos ensaios.

DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
LABORATÓRIO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
Fones: (0**16) 3373-9315 - (0**16) 3373-9297- FAX: (0**16) 3373-9315
<http://www.sapfei.eesc.usp.br/lcc/>

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES EM CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO - NBR5739

CERTIFICADO Nº _____ /2010

INTERESSADO : **FIPAI** - Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial
PROCEDÊNCIA DECLARADA, Obra:
SOLICITANTE : **Alcino José Calmon da Silva (11) 9311 0403**
FORNECEDOR :
CARACTERÍSTICAS DECLARADAS: f_{ck} = _____ MPa, brita: _____ Slump: _____ Uso: _____

CP N.º	Indicações Declaradas	Abat (mm)	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (Dias)	Carga (TF)	f_{ck} (MPa)
01	PADRÃO - CP II E 32		11/11	09/12	28	25,30	32,2
02	"		"	"	"	26,51	33,8
03	"		"	"	"	27,06	34,5
04	"		"	"	"	26,26	33,2
05	DIAMETRAL		"	"	"	09,54	12,98
06	"		"	"	"	10,98	3,43
07	"		"	"	"	11,24	3,51
08	"		"	"	"	10,88	3,40

OBSERVAÇÕES

1) Os resultados aplicam-se às amostras fornecidas pelo solicitante do ensaio.
2) Todos os dados foram fornecidos pelo solicitante.

São Carlos, 11 / 11 / 2010

Figura 77 - Resultados para o traço padrão (s/ lodo)

2

DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
 LABORATÓRIO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
 Fones: (0**16) 3373-9315 - (0**16) 3373-9297- FAX: (0**16) 3373-9315
<http://www.saples.cexs.usp.br/lcc/>

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES EM CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO - NBR5739

CERTIFICADO Nº _____ /2010

INTERESSADO : **FIPAI** – Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial
 PROCEDÊNCIA DECLARADA: Obra:
 SOLICITANTE:
 FORNECEDOR:
 CARACTERÍSTICAS DECLARADAS: fck= MPa, brita: Slump: Uso:

CP Nº	Indicações Declaradas	Abat (mm)	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (Dias)	Carga (TF)	f _{cj} (MPa)
01	5% LODO		11/11	09/12	28	21,96	27,9
02	" CPT E 32		"	"	"	22,78	29,0
03	"		"	"	"	23,16	29,5
04	"		"	"	"	23,36	29,7
05	DIAMETRAL		"	"	"	09,48	2,96
06	"		"	"	"	08,98	2,80
07	"		"	"	"	10,10	3,15
08	"		"	"	"	10,02	3,13

OBSERVAÇÕES

1) Os resultados aplicam-se às amostras fornecidas pelo solicitante do ensaio.

2) Todos os dados foram fornecidos pelo solicitante.

São Carlos, / / 2010

Figura 78 - Resultados para o traço com 5% de lodo

DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
 LABORATÓRIO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
 Fones: (0**16) 3373-9315 - (0**16) 3373-9297- FAX: (0**16) 3373-9315
<http://www.saplei.uesc.br/leco/>

3

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES EM CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO - NBR5739

CERTIFICADO Nº /2010

INTERESSADO : **FIPAI** – Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial
 PROCEDÊNCIA DECLARADA: Obra:

SOLICITANTE:

FORNECEDOR:

CARACTERÍSTICAS DECLARADAS: fck= MPa, brita: Slump: Uso:

CP Nº	Indicações Declaradas	Abat (mm)	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (Dias)	Carga (TF)	f _{gj} (MPa)
01	10 % LODO		11/11	09/12	28	19,24	24,5
02	0 CPT 32		11	11	11	19,00	24,2
03	0		11	11	11	19,38	24,7
04	0		11	11	11	19,90	25,3
05	DIAMETRAL		11	11	11	08,78	2,74
06	11		11	11	11	07,68	2,40
07	11		11	11	11	08,60	2,69
08	11		11	11	11	07,62	2,38

OBSERVAÇÕES

- 1) Os resultados aplicam-se às amostras fornecidas pelo solicitante do ensaio.
- 2) Todos os dados foram fornecidos pelo solicitante.

São Carlos, / /2010

Figura 79 - Resultados para traço com 10% de lodo

4

DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
LABORATÓRIO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
Fones: (0**16) 3373-9313 ~ (0**16) 3373-9297- FAX: (0**16) 3373-9315
<http://www.suptel.esc.usp.br/icc/>

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES EM CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO - NBR5739

CERTIFICADO Nº /2010

INTERESSADO : **FIPAI** - Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial

PROCEDÊNCIA DECLARADA: Oبرا

SOLICITANTE:

FORNECEDOR:

CARACTERÍSTICAS DECLARADAS: fck= MPa, brita: Slump: Uso:

CP N.º	Indicações Declaradas	Abat (mm)	Data de Moldagem	Data de Ruptura	Idade (Dias)	Carga (TF)	f _{cd} (MPa)
01	20% Lodo		11/11	09/12	28	12,32	15,7
02	CPA-E32		"	"	"	12,48	15,9
03	"		"	"	"	12,14	15,5
04	"		"	"	"	11,88	15,1
05	DIA METAL		"	"	"	04,76	1,49
06	"		"	"	"	05,40	1,69
07	"		"	"	"	05,90	1,84
08	"		"	"	"	05,12	1,60

OBSERVAÇÕES

- 1) Os resultados aplicam-se às amostras fornecidas pelo solicitante do ensaio.
- 2) Todos os dados foram fornecidos pelo solicitante.

São Carlos, / / 2010

Figura 80 - Resultados para traço com 20% de lodo