

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM
ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE - PPGEMA**

LEONORA MILAGRE DE SOUZA

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE DECANTADOR DE ETA
COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

Orientador: Professor Dr. Paulo Sérgio Scalize

Goiânia

2011

LEONORA MILAGRE DE SOUZA

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE DECANTADOR DE ETA
COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente - PPGEMA da Universidade Federal de Goiás, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Área de Concentração:

Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientador:

Professor Dr. Paulo Sérgio Scalize

Goiânia

2011

S729

Souza, Leonora Milagre de

Estudo da aplicação do resíduo de decantador de ETA como auxiliar de floculação no tratamento de água / Leonora Milagre de Souza. - 2011.

XX, 145 p.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize.

1. Resíduo de ETA. 2. Gerenciamento de resíduo. 3. Tratamento de resíduo. 4. Tratamento de água. I. Título.

CDU (2.ed) 628.54

LEONORA MILAGRE DE SOUZA

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE DECANTADOR DE ETA COMO
AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

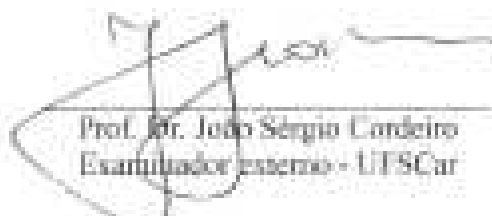
Dissertação defendida e aprovada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA) da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, para a obtenção do título de Mestre em 21 de junho de 2011, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes membros professores doutores:



Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize
Presidente da banca



Prof. Dr. Eraldo Henriques de Carvalho
Examinador interno - UFG



Prof. Dr. João Sérgio Cordeiro
Examinador externo - UFSCar

*Aos meus pais,
Léia Milagre e Claudionor Francisco,
exemplos de vida, amor e dedicação.*

*Ao meu amigo e irmão,
Diogo Milagre.*

*Ao meu eterno amado,
Ricardo Neri.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, saúde e maravilhosa família que tenho.

Aos meus pais, Léia e Claudionor, pela ótima educação, grandioso amor e extrema dedicação. Pela força que sempre me deram para concluir mais essa etapa.

Ao meu irmão, Diogo e sua esposa Cláudia, que fazem parte do meu crescimento.

Ao meu esposo, Ricardo, pelo amor, carinho, amizade e grandiosa compreensão.

Ao Professor Dr. Paulo Sérgio Scalize, pela sua imensa disponibilidade, dedicação e excelente orientação.

Aos colegas do PPGEMA, pelo constante incentivo e colaboração no decorrer da pesquisa.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da UFG.

A Luciana, Wilma e Volmy, da SANEAGO, pela preciosa ajuda durante o desenvolvimento da pesquisa.

A Cryslara, pela dedicação e colaboração durante a parte experimental.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa Tecnológica e Científica – CNPq pelo auxílio concedido para o andamento do presente trabalho, processo nº 481969/2009-8.

Aos inúmeros amigos que conquistei durante o mestrado e todas as pessoas que direta ou indiretamente colaboraram com o trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE QUADROS.....	XI
LISTA DE TABELAS.....	XII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XVII
LISTA DE SIMBOLOS	XVIII
RESUMO.....	XIX
ABSTRACT	XX
INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1 ORIGEM DOS RESÍDUOS GERADOS EM ETAS	4
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO GERADO NAS DESCARGAS DE DECANTADOR DE ETAS	5
3.2.1 Fatores que influenciam as características do resíduo de decantador de ETA	5
3.2.1.1 <i>Qualidade da água bruta.....</i>	5
3.2.1.2 <i>Produtos químicos utilizados no tratamento da água.....</i>	6
3.2.1.3 <i>Tipo de decantador existente na ETA e o sistema de remoção de lodo</i>	7
3.2.2 Características físicas, químicas e bacteriológicas do resíduo de decantador	8
3.2.2.1 <i>Características gerais</i>	8
3.2.2.2 <i>Características específicas</i>	14
3.2.2.2.1 <i>Resistência específica à filtração do resíduo do decantador.....</i>	14
3.2.2.2.2 <i>Sedimentabilidade do resíduo de decantador</i>	16
3.2.2.2.3 <i>Desaguamento do resíduo do decantador por centrifugação</i>	16
3.3 MÉTODOS DE APROVEITAMENTO, TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUO DE ETA.....	17
3.3.1 Disposição do resíduo no solo	19
3.3.2 Recuperação do coagulante	20
3.3.3 Co-disposição em cerâmica e matrizes de concreto.....	20
3.3.4 Redução do volume de água no resíduo de ETA	21

3.3.4.1 Condicionamento do resíduo.....	21
3.3.4.2 Adensamento do resíduo.....	23
3.3.4.3 Desaguamento do resíduo	23
3.3.5 Uso do resíduo de decantador de ETA como auxiliar de floculação	25
4 MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ETA – MEIA PONTE	28
4.2 ANÁLISES E EXAMES LABORATORIAIS.....	30
4.2.1 Sedimentabilidade do resíduo do decantador	31
4.2.2 Resistência específica à filtração	32
4.2.3 Desaguamento do material sedimentado por centrifugação	33
4.2.3.1 Característica do polieletrólito	33
4.2.3.2 Procedimento para o ensaio de centrifugação.....	34
4.3 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA DA ETA.....	35
4.4 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DOS DECANTADORES DA ETA.....	36
4.5 APLICAÇÃO DO RESÍDUO DOS DECANTADORES DA ETA NO TRATAMENTO DE ÁGUA	38
4.5.1 Ensaio de Jar Test.....	38
4.5.2 Quantificação das melhores dosagens de coagulante e melhores concentrações do resíduo nas séries de ensaios	41
4.5.2.1 Avaliação da remoção de cor e turbidez do sobrenadante	42
4.5.2.2 Análise do material sedimentado na cuba de Jar Test.....	42
4.6 APLICAÇÃO DO RESÍDUO DOS DECANTADORES DA ETA NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA OS MELHORES RESULTADOS	44
4.6.1 Determinação dos melhores resultados	44
4.6.2 Análise do sobrenadante nos melhores resultados	44
4.6.3 Análise do material sedimentado nos melhores resultados	45
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA.....	46
5.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DOS DECANTADORES DA ETA.....	47
5.3 APLICAÇÃO DO RESÍDUO DOS DECANTADORES DA ETA NO TRATAMENTO DE ÁGUA	49
5.3.1 Quantificação das melhores dosagens de coagulante e melhores concentrações do resíduo para as séries de ensaios	51

5.3.1.1 Avaliação da remoção de cor e turbidez do sobrenadante nas séries de ensaios.....	52
5.3.1.1.1 Série de ensaios 1 – Turbidez = 21 UNT	52
5.3.1.1.2 Série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT	54
5.3.1.1.3 Série de ensaios 3 – Turbidez = 218 UNT	56
5.3.1.1.4 Comparação das séries de ensaios	58
5.3.1.2 Análise do material sedimentado na cuba de Jar Test.....	60
5.4 APLICAÇÃO DO RESÍDUO DOS DECANTADORES DA ETA NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA OS MELHORS RESULTADOS	65
5.4.1 Determinação dos melhores resultados	65
5.4.2 Análise do sobrenadante nos melhores resultados	66
5.4.3 Análise do material sedimentado nos melhores resultados	67
5.4.3.1 Sedimentabilidade do material sedimentado nas cubas do Jar Test.....	68
5.4.3.2 Resistência específica do material sedimentado	71
5.4.3.3 Desaguamento por centrifugação do material sedimentado.....	75
5.4.3.3.1 Série de ensaios 2	75
5.4.3.3.2 Série de ensaios 3	78
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS	89
ANEXO A.....	89
ANEXO B.....	107
ANEXO C.....	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico típico dos valores de “t/v” em função de “v”, para obtenção de “b” no cálculo da resistência específica.	15
Figura 2. Volume de água bruta e de água tratada pela ETA – Meia Ponte e a porcentagem da água bruta perdida.	28
Figura 3. Calha Parshall na entrada da ETA e local de aplicação de sulfato de alumínio	29
Figura 4. Decantador da ETA e raspador mecanizado	29
Figura 5. Lagoa de secagem de lodo	30
Figura 6. Fluxograma geral para análise de sedimentabilidade do material sedimentado	32
Figura 7. Equipamentos e materiais utilizados no teste de resistência específica.	33
Figura 8. Procedimento para realização do ensaio de centrifugação.....	35
Figura 9. Caixa plástica utilizada no armazenamento da água bruta.....	36
Figura 10. Ponto de coleta do resíduo dos decantadores na lagoa de lodo em carga	37
Figura 11. Esquema geral da pesquisa.	39
Figura 12. Curva típica para determinação da melhor dosagem de coagulante.	43
Figura 13. Mecanismo para remoção do excesso de sobrenadante	43
Figura 14. Esquema geral para a avaliação do material sedimentado na cuba de Jar Test em todos os ensaios.	44
Figura 15. Remoção de cor e turbidez após aplicação de resíduo com SST = 1.635 mg/L, série de ensaio 1 – Turbidez = 21 UNT.	52
Figura 16. Remoção de cor e turbidez após aplicação de resíduo com SST = 3.442 mg/L, série de ensaio 1 – Turbidez = 21 UNT.	53
Figura 17. Remoção de cor e turbidez após aplicação de resíduo com SST = 4.306 mg/L, série de ensaio 1 – Turbidez = 21 UNT.	53
Figura 18. Remoção satisfatória de turbidez após aplicação das amostras de resíduo, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.	54
Figura 19. Remoção não satisfatória de turbidez após aplicação das amostras de resíduo, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.	55
Figura 20. Remoção satisfatória de cor após aplicação das amostras de resíduo, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.	56
Figura 21. Remoção satisfatória de turbidez após aplicação das amostras de resíduo, série de ensaio 3 – Turbidez = 218 UNT	56
Figura 22. Remoção não satisfatória de turbidez após aplicação das amostras de resíduo, série de ensaio 3 – Turbidez = 218 UNT	57
Figura 23. Remoção satisfatória de cor após aplicação das amostras de resíduo, série de ensaio 3 – Turbidez = 218 UNT.	57
Figura 24. Desempenho limite para a aplicação do resíduo da ETA no tratamento de água, quanto à remoção de turbidez da água decantada.....	58

Figura 25. Esquema geral dos resultados dos ensaios de Jar Test quanto à remoção de turbidez	59
Figura 26. Relação entre turbidez e SST nas amostras de sobrenadantes após a realização dos ensaios de Jar Test, com e sem aplicação do resíduo dos decantadores da ETA.	61
Figura 27. Concentração de materiais sedimentáveis na cuba de Jar Test, na série de ensaios 1 – Turbidez = 21 UNT.	62
Figura 28. Concentração de materiais sedimentáveis na cuba de Jar Test, que recebeu resíduo com SST igual a 2.615, 3.642 e 4.664 mg/L, na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.	63
Figura 29. Concentração de materiais sedimentáveis na cuba de Jar Test, que recebeu resíduo com SST igual a 7.500, 8.573 e 9.670 mg/L, na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.	63
Figura 30. Concentração de materiais sedimentáveis na cuba de Jar Test que recebeu resíduo da ETA, na série de ensaios 3 – Turbidez = 218 UNT.	64
Figura 31. Desempenho limite para a aplicação do resíduo da ETA no tratamento de água, quanto ao volume de materiais sedimentáveis.	65
Figura 32. Curvas de sedimentabilidade do material sedimentado nos melhores resultados da série 2.	69
Figura 33. Curva de sedimentabilidade do material sedimentado nos melhores resultados da série 3.	70
Figura 34. Curvas de sedimentabilidade do material sedimentado com aplicação do resíduo da ETA.	71
Figura 35. Volume filtrado em função do tempo de filtração do material sedimentado para as várias concentrações de resíduos aplicados nos ensaios da série 2.	72
Figura 36. Volume filtrado em função do tempo de filtração do material sedimentado para as várias concentrações de resíduos aplicados nos ensaios da série 3.	72
Figura 37. Valores de resistência específica em função da concentração de SST no resíduo aplicado no ensaio de Jar Test e no material sedimentado na cuba do Jar Test	74
 Figura A. 1. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 2.615 mg/L aplicada na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.	 91
Figura A. 2. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 3.642 mg/L aplicada na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.	92
Figura A. 3. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 4.664 mg/L aplicada na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.	93
Figura A. 4. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 7.500 mg/L aplicada na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.	94
Figura A. 5. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 8.573 mg/L aplicada na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.	95

Figura A. 6. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 9.670 mg/L aplicada na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.	96
Figura A. 7. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 2.678 mg/L aplicada na série de ensaios 3 – Turbidez = 218 UNT.	98
Figura A. 8. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 5.420 mg/L aplicada na série de ensaios 3 – Turbidez = 218 UNT.	99
Figura A. 9. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 8.556 mg/L aplicada na série de ensaios 3 – Turbidez = 218 UNT.	100
Figura A. 10. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 12.670 mg/L aplicada na série de ensaios 3 – Turbidez = 218 UNT.	101
Figura A. 11. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 14.300 mg/L aplicada na série de ensaios 3 – Turbidez = 218 UNT.	102
Figura C. 1. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test (série 2) que empregou 100% da dosagem de coagulante usada na ETA e não recebeu resíduo da ETA..	117
Figura C. 2. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test (série 2) que empregou 75% da dosagem de coagulante usada na ETA e recebeu resíduo da ETA com SST igual a 3.654 mg/L.....	117
Figura C. 3. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test (série 2) que empregou 50% da dosagem de coagulante usada na ETA e recebeu resíduo da ETA com SST igual a 7.500 mg/L.....	118
Figura C. 4. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test (série 3) que empregou 100% da dosagem de coagulante usada na ETA e que não recebeu resíduo da ETA.	118
Figura C. 5. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test (série 3), que empregou 35% da dosagem de coagulante usada na ETA e recebeu resíduo da ETA com SST igual a 2.678 mg/L.....	119
Figura C. 6. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test (série 3), que empregou 40% da dosagem de coagulante usada na ETA e recebeu resíduo da ETA com SST igual a 2.678 mg/L.....	119
Figura C. 7. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test (série 3), que	

empregou 45% da dosagem de coagulante usada na ETA e recebeu resíduo da ETA com SST igual a 8.556 mg/L..... 120

Figura C. 8. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test (série 3), que empregou 55% da dosagem de coagulante usada na ETA e recebeu resíduo da ETA com SST igual a 8.556 mg/L..... 120

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Parâmetros físicos e físico-químicos determinados por pesquisadores brasileiros para resíduos provenientes da descarga de decantadores.	10
Quadro 2. Característica do resíduo de decantador da ETA Jaime Câmara.....	12
Quadro 3. Análises de metais do resíduo da ETA – Meia Ponte.....	13
Quadro 4. Destino dos resíduos gerados nas ETAs dos Distritos Brasileiros, considerando as Grandes Regiões.	18
Quadro 5. Dosagens de sulfato de alumínio utilizadas no tratamento de água da ETA.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Métodos e equipamentos utilizados na determinação dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos.....	31
Tabela 2. Parâmetros de caracterização da água bruta	36
Tabela 3. Parâmetros utilizados na caracterização das amostras de resíduo aplicadas nos ensaios de Jar Test.....	37
Tabela 4. Valores dos parâmetros de mistura rápida, floculação e sedimentação para ensaios de Jar Test.....	40
Tabela 5. Parâmetros para a caracterização do sobrenadante nos melhores resultados	45
Tabela 6. Parâmetros para a caracterização do material sedimentado nos melhores resultados	45
Tabela 7. Caracterização da amostra de água bruta no estudo preliminar	46
Tabela 8. Caracterização das amostras de água bruta utilizadas nas séries de ensaios de Jar Test	46
Tabela 9. Valores de turbidez e cor na água decantada produzida na ETA	47
Tabela 10. Caracterização da amostra do resíduo aplicada no estudo preliminar.....	48
Tabela 11. Caracterização das amostras do resíduo aplicadas na série de ensaios 1.	48
Tabela 12. Caracterização das amostras do resíduo aplicadas na série de ensaios 2.	48
Tabela 13. Caracterização das amostras do resíduo aplicadas na série de ensaios 3.	49
Tabela 14. Remoção de turbidez e cor do sobrenadante após ensaio de Jar Test, utilizando variações da dosagem de coagulante aplicada na ETA.	50
Tabela 15. Remoção de turbidez e cor do sobrenadante após a realização do estudo preliminar, partindo de 31 mg/L de coagulante e aplicando o resíduo com SST = 1.560 mg/L	51
Tabela 16. Remoção de turbidez e cor do sobrenadante após a realização do estudo preliminar, partindo de 24,8 mg/L de coagulante e aplicando o resíduo com SST = 1.560mg/L	51
Tabela 17. Eficiência de remoção de turbidez e cor no sobrenadante após ensaios de Jar Test com 100% de coagulante e sem aplicação de resíduo	51
Tabela 18. Melhores resultados trabalhados.....	65
Tabela 19. Melhores resultados para a operação da ETA	66
Tabela 20. Caracterização das amostras de sobrenadante nos melhores resultados das séries 2 e 3.	66
Tabela 21. Caracterização do material sedimentado nos melhores resultados da série 2.	67
Tabela 22. Caracterização do material sedimentado nos melhores resultados da série 3.	68
Tabela 23. Concentração de materiais sedimentáveis nos melhores resultados da série 2.	69
Tabela 24. Concentração de materiais sedimentáveis nos melhores resultados da série 3.	71

Tabela 25. Resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test - série de ensaios 3.....	73
Tabela 26. Resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test - série de ensaios 2.....	73
Tabela 27. Teor de SST _r , turbidez do sobrenadante e volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 100% da dosagem de coagulante usada na ETA e não recebeu resíduo da ETA - série 2.	75
Tabela 28. Teor de SST _r , turbidez do sobrenadante e volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 75% da dosagem de coagulante usada na ETA e resíduo da ETA com SST = 3.645 mg/L - série 2.	76
Tabela 29. Teor de SST _r , turbidez do sobrenadante e volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 50% da dosagem de coagulante usada na ETA e resíduo da ETA com SST = 7.500 mg/L - série 2.	77
Tabela 30. Resumo dos melhores resultados do ensaio de centrifugação do material sedimentado na série de ensaios 2.	77
Tabela 31. Teor de SST _r , turbidez do sobrenadante e volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 100% da dosagem de coagulante usada na ETA e não recebeu resíduo da ETA - série 3.	78
Tabela 32. Teor de SST _r , turbidez do sobrenadante e volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 35% da dosagem de coagulante usada na ETA e o resíduo da ETA com SST = 2.678 mg/L - série 3.	79
Tabela 33. Teor de SST _r , turbidez do sobrenadante e volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 40% da dosagem de coagulante usada na ETA e o resíduo da ETA com SST = 2.678 mg/L - série 3.	79
Tabela 34. Teor de SST _r , turbidez do sobrenadante e volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 45% da dosagem de coagulante usada na ETA e o resíduo da ETA com SST = 8.556 mg/L - série 3.	80
Tabela 35. Teor de SST _r , turbidez do sobrenadante e volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 55% da dosagem de coagulante usada na ETA e o resíduo da ETA com SST = 8.556 mg/L - série 3.	80
Tabela 36. Resumo dos resultados do desaguamento por centrifugação do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test - série de ensaios 3.	81
Tabela A. 1 - Volume filtrado em função do tempo de filtração, utilizado no cálculo da resistência específica das amostras de resíduo aplicadas na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.	90

Tabela A. 2 - Volume filtrado em função do tempo de filtração, utilizado no cálculo da resistência específica das amostras de resíduo aplicadas na série de ensaios 3 – Turbidez = 218 UNT	97
Tabela A. 3. Volume de sólidos do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio de centrifugação, utilizando a amostra do resíduo com SST = 3.642 mg/L aplicada na série de ensaios 2.....	103
Tabela A. 4. Teor de SST _r e turbidez do sobrenadante em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio de centrifugação, utilizando a amostra do resíduo com SST = 3.642 mg/L aplicada na série de ensaios 2.	103
Tabela A. 5. Volume de sólidos do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio de centrifugação, utilizando a amostra do resíduo com SST = 7.500 mg/L aplicada na série de ensaios 2.....	104
Tabela A. 6. Teor de SST _r e turbidez do sobrenadante em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio de centrifugação, utilizando a amostra do resíduo com SST = 7.500 mg/L aplicada na série de ensaios 2.	104
Tabela A. 7. Volume de sólidos do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio de centrifugação, utilizando a amostra do resíduo com SST = 2.678 mg/L aplicada na série de ensaios 3.....	105
Tabela A. 8. Teor de SST _r e turbidez do sobrenadante em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio de centrifugação, utilizando a amostra do resíduo com SST = 2.678 mg/L aplicada na série de ensaios 3.	105
Tabela A. 9. Volume de sólidos do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio de centrifugação, utilizando a amostra do resíduo com SST = 8.556 mg/L aplicada na série de ensaios 3.....	106
Tabela A. 10. Teor de SST _r e turbidez do sobrenadante em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio de centrifugação, utilizando a amostra do resíduo com SST = 8.556 mg/L aplicada na série de ensaios 3.	106
 Tabela B. 1. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 1.635 mg/L, série de ensaios 1 – turbidez = 21 UNT.	107
Tabela B. 2. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 3.443 mg/L, série de ensaios 1 – turbidez = 21 UNT.	108
Tabela B. 3. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 4.306 mg/L, série de ensaio 1 – Turbidez = 21 UNT.	108
Tabela B. 4. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 2.615 mg/L, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.	109
Tabela B. 5. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 3.642 mg/L, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.	109
Tabela B. 6. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 4.664 mg/L, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.	110
Tabela B. 7. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 7.500 mg/L, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.	110

Tabela B. 8. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 8.573 mg/L, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.	111
Tabela B. 9. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 9.670 mg/L, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.	111
Tabela B. 10. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 2.678 mg/L, série de ensaio 3 – Turbidez = 218 UNT.	112
Tabela B. 11. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 5.420 mg/L, série de ensaio 3 – Turbidez = 218 UNT.	112
Tabela B. 12. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 8.556 mg/L, série de ensaio 3 – Turbidez = 218 UNT.	113
Tabela B. 13. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 12.670 mg/L, série de ensaio 3 – Turbidez = 218 UNT.	113
Tabela B. 14. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 14.300 mg/L, série de ensaio 3 – Turbidez = 218 UNT.	114
Tabela C. 1. Volume filtrado em função do tempo de filtração dos materiais sedimentados gerados após a realização dos ensaios de Jar Test na série de ensaios 2 e 3, sem e com a aplicação do resíduo da ETA.....	116
Tabela C. 2. Volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no teste, utilizando o material sedimentado que recebeu 100% da dosagem de coagulante usada na ETA e não recebeu resíduo da ETA - série 2.	121
Tabela C. 3. Volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 75% da dosagem de coagulante usada na ETA e resíduo da ETA com SST igual a 3.645 mg/L - série 2.....	121
Tabela C. 4. Volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 50% da dosagem de coagulante usada na ETA e resíduo da ETA com SST igual a 7.500 mg/L - série 2.....	121
Tabela C. 5. Volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 100% da dosagem de coagulante usada na ETA e não recebeu resíduo da ETA - série 3.	122
Tabela C. 6. Volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 35% da dosagem de coagulante usada na ETA e resíduo da ETA com SST igual a 2.678 mg/L - série 3.....	122
Tabela C. 7. Volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 40% da dosagem de coagulante usada na ETA e resíduo da ETA com SST igual a 2.678 mg/L - série 3.....	122
Tabela C. 8. Volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que	

recebeu 45% da dosagem de coagulante usada na ETA e resíduo da ETA com SST igual a 8.556 mg/L - série 3..... 123

Tabela C. 9. Volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 55% da dosagem de coagulante usada na ETA e resíduo da ETA com SST igual a 8.556 mg/L - série 3..... 123

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ETAs	- Estações de Tratamento de Água
ETA	- Estação de Tratamento de Água
UFG	- Universidade Federal de Goiás
SANEAGO	- Saneamento de Goiás S/A
SSed	- Sólidos Sedimentáveis
ST	- Sólidos Totais
SVT	- Sólidos Voláteis Totais
SFT	- Sólidos Fixos Totais
SST	- Sólidos Suspensos Totais
SSV	- Sólidos Suspensos Voláteis
SSF	- Sólidos Suspensos Totais
SDT	- Sólidos Dissolvidos Totais
SDV	- Sólidos Dissolvidos Voláteis
SDF	- Sólidos Dissolvidos Fixos
DBO	- Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
pH	- Potencial Hidrogeniônico
SST _r	- Sólidos Suspensos Totais final no centrifugado
SST _i	- Sólidos Suspensos Totais inicial

LISTA DE SIMBOLOS

r	- resistência específica
P	- pressão de filtração
A	- área filtrante
μ	- viscosidade do filtrado
C	- massa de sólidos suspensos por unidade de volume filtrado
b	- inclinação da reta de t/v versus v
t	- tempo de filtração
v	- volume filtrado
r_c	- raio da centrífuga
R	- rotação da centrífuga
G^*	- intensidade da força centrífuga
V_c	- volume resultante de torta após centrifugação
V_t	- volume total da suspensão
G_{mr}	- Gradiente de velocidade na mistura rápida
G_{f1}	- Gradiente de velocidade na floculação – 1º floculador
G_{f2}	- Gradiente de velocidade na floculação – 2º floculador
G_{f3}	- Gradiente de velocidade na floculação – 3º floculador
T_{mr1}	- Primeiro tempo de mistura rápida
T_{mr2}	- Segundo tempo de mistura rápida
T_{f1}	- Tempo de floculação – 1º floculador
T_{f2}	- Tempo de floculação – 2º floculador
T_{f3}	- Tempo de floculação – 3º floculador
T_s	- Tempo de sedimentação

RESUMO

SOUZA, L. M. **Estudo da aplicação do resíduo de decantador de ETA como auxiliar de floculação no tratamento de água.** 2011. 145p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

Os resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) são decorrentes das diversas etapas do tratamento da água, em especial da descarga de decantadores. A prática mais comum no Brasil de disposição desse resíduo é diretamente em corpos hídricos, podendo causar impactos negativos ao meio ambiente. Em geral, as ETAs apresentam dificuldades no gerenciamento dos resíduos devido os altos custos com transporte e disposição, o aumento constante no consumo de produtos químicos, dentre outros complicadores. Visando a redução de coagulante utilizado no processo e a melhoria das características desse resíduo para o deságue, a presente pesquisa analisou os efeitos da aplicação do resíduo de decantador de Estação de Tratamento de ETA (ETA) nos processos de coagulação, floculação e sedimentação do tratamento de água. Por meio de ensaios laboratoriais, utilizando Jar Test, foram realizadas três séries de ensaios, cada uma utilizando água bruta com turbidez distinta. Nesses ensaios foram empregadas dosagens variadas de sulfato de alumínio e aplicadas amostras de resíduo da ETA com concentrações de sólidos suspensos totais (SST) diferentes. Após a realização dos ensaios de Jar Test, a água decantada foi caracterizada quanto à turbidez, cor aparente, concentração de sólidos e coliformes, não sendo verificadas alterações significativas em sua qualidade. Para a maioria das situações, a aplicação do resíduo no tratamento possibilitou a redução de coagulante na faixa de 50% a 60%. O aumento da turbidez da água bruta permitiu a aplicação do resíduo mais concentrado, sem reduzir a eficiência do tratamento quanto a remoção de turbidez. Com relação ao material sedimentado gerado nos ensaios de Jar Test, a redução da dosagem de coagulante favoreceu a redução do volume ocupado pelo material, independente da concentração de resíduo aplicado. A resistência específica do material sedimentado foi maior se comparada à situação sem aplicação do resíduo, em praticamente todas as situações estudadas. Para a água com 100 UNT e aplicação do resíduo maior que 7.500 mg/L, e água com 210 UNT e resíduo menor que 8.600 mg/L houve melhora na sedimentabilidade. O deságue do material sedimentado por meio de centrifugação também melhorou com a aplicação dos resíduos com 3.642 mg/L e 75% de coagulante, e 7.500 mg/L utilizando 50% de coagulante. O condicionamento químico por meio de polieletrólito não iônico não auxiliou no desaguamento do material sedimentado, e sim na melhoria da qualidade da água sobrenadante. Baseado neste estudo percebeu-se que a aplicação do resíduo da ETA no tratamento de água foi satisfatória quanto aos parâmetros analisados, devendo ser levada em consideração a dosagem de coagulante empregada e a concentração do resíduo aplicado.

PALAVRAS-CHAVE: resíduo de ETA, gerenciamento, tratabilidade de resíduo, coagulante

ABSTRACT

SOUZA, L. M. Study of the application of decanters waste of WTP as an aid of flocculation of water treatment. 2011. 145p. Dissertation (Masters in Environmental Engineering) - School of Civil Engineering, Federal University of Goiás, Goiania, 2011.

The residue generated in Water Treatment Plant (WTP) are derived from different stages of water treatment, especially the discharge of decanters. The most common practice in Brazil is the residue disposal directly into rivers, causing negative impacts to the environment. In general, the WTP have difficulties in managing the residue because the high costs of transportation and disposal, the steady increase in the consumption of chemicals, among other complicating factors. Aiming to reduce the coagulant used in the process and improving the characteristics of the residues for the outflow, this research examined the effects of biosolids application decanter of WTP in the processes of coagulation, flocculation and sedimentation of water treatment. Through laboratory tests, using Jar Test, there were three series of tests, each one using gross water with distinct turbidity. In these trials were used different dosages of aluminum sulfate and applied to WTP samples with different concentrations of total solids suspended (TSS). After the Jar Test, the decanted water was characterized as turbidity and color, solids and coliforms were not found significant changes in their quality. For most situations, the residue application in treatment has reduced the coagulant in the range 50% to 60%. The increased turbidity of gross water allowed the application of more concentrated residue without reducing the efficiency of treatment in terms of turbidity removal. Regarding the sedimented material in the Jar Test, the decreasing of the dosage of coagulant favored the reduction of the occupied volume by the material, independent of the concentration of residue applied. The specific resistance of sedimented material was higher when compared to the situation without the application in virtually all studied situations. For water with 100 NTU and implementation of residue greater than 7.500 mg/L, and water with 210 NTU and residue less than 8.600 mg/L there was improvement in the sedimentability. The dewatering ability of the sediments by centrifugation was also improved with the application of the residue with 3.642 mg/L and 75% of the coagulant, and 7.500 mg/L using 50% of coagulant. The chemical conditioning by nonionic polyelectrolyte did not improved in the dewatering of sedimented material, but in improving water quality supernatant. Based on this study it was noticed that the application of WTP residue in water treatment was satisfactory as for the analyzed parameters, considering the dosage of coagulant used and the residue applied.

Keywords: residue of WTP, management, residue treatability, coagulant.

INTRODUÇÃO

É evidente a escassez de mananciais de boa qualidade em certas regiões brasileiras devido à crescente demanda de água para consumo humano e ao alto grau de poluição e contaminação dos mesmos. As Estações de Tratamento de Água (ETAs) têm grande importância frente a essa problemática, pois removem o material em suspensão na água bruta e geram grandes quantidades de resíduos, muitas vezes dispostos diretamente nos corpos d'água.

Os resíduos das ETAs são decorrentes principalmente da lavagem de filtros e descarga de decantadores. Segundo Reali (1999), o resíduo de decantador representa cerca de 0,1 a 1,5% do volume de água bruta, sendo constituído por matéria orgânica, inorgânica, além de grande concentração de água, de hidróxido de alumínio ou de ferro, dependendo do coagulante utilizado. Nos tanques de preparação e armazenamento de produtos químicos, os resíduos são produzidos por ocasião das lavagens em volumes insignificantes.

O resíduo da Estação de Tratamento de Água (ETA) dependendo das características da água bruta e qualidade dos produtos químicos empregados no tratamento da água pode apresentar um potencial de poluição e contaminação do meio ambiente se disposto diretamente nos corpos d'água, provocando alterações de cor e turbidez no corpo receptor, inibição da atividade biológica do corpo receptor, aumento da concentração de sólidos no fundo do mesmo.

Por apresentar um grande potencial de poluição, o desenvolvimento de técnicas para a minimização, aproveitamento, tratamento e ou disposição final do resíduo de ETA é imprescindível. Diversas alternativas são indicadas para a sua disposição, tais como: lançamento na rede de esgotos sanitários; envio à lagoas de lodos; envio ao aterro sanitário; aplicação no solo agrícola; fabricação de cimento e material cerâmico; uso na recuperação de áreas degradadas e melhoria da sedimentabilidade em águas com baixa turbidez.

Nas ETAs em geral apresentam dificuldades na gestão dos resíduos, muitas vezes causadas pelo o aumento constante no consumo de produtos químicos, devido a decrescente qualidade de água dos mananciais. Segundo Scalize, Leite e Fornazari (2010), a grande quantidade desses produtos acarreta além dos altos custos, maior volume de lodo e maior concentração de químicos no mesmo.

Em muitos casos, os custos com transporte e destinação correspondem a maior parte dos gastos com o seu gerenciamento, podendo inviabilizá-lo. A redução da umidade e

do material a ser disposto mostra-se como uma solução econômica e ambientalmente adequada para essa questão.

A utilização do resíduo de decantador na melhoria do processo de coagulação/floculação tem se mostrado oportuna na solução de tais problemas. Essa técnica segundo Cordeiro (1981), quando empregada de forma controlada, pode contribuir para a redução do consumo de insumos químicos, melhoria da sedimentabilidade dos flocos, obtendo-se, por consequência, a redução nos custos de tratamento de água.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral da pesquisa é avaliar a potencialidade da aplicação do resíduo dos decantadores da ETA – Meia Ponte em Goiânia, Goiás, como auxiliar de floculação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Especificamente objetiva-se:

- a) analisar a aplicação do resíduo dos decantadores como auxiliar de floculação no tratamento de água com diferentes turbidez;
- b) identificar as melhores dosagens de sulfato de alumínio e as melhores concentrações do resíduo dos decantadores a serem aplicadas no tratamento de água:
 - b1) analisar a qualidade da água decantada após a aplicação do resíduo;
 - b2) caracterizar o material sedimentado nos ensaios de Jar Test após a aplicação do resíduo dos decantadores no tratamento de água.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 ORIGEM DOS RESÍDUOS GERADOS EM ETAS

As Estações de Tratamento de Água transformam a água bruta, normalmente imprópria para o consumo humano, em água potável, de acordo com os parâmetros de qualidade estabelecidos na Portaria nº 518 do Ministério da Saúde de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004).

As ETAs trazem além dos benefícios à população, impactos negativos ao meio ambiente, especialmente pela geração de resíduos. De acordo com Brasil (2010), os resíduos sólidos são materiais, substâncias, objetos ou bem descartável resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder. Diferentemente dos resíduos, os rejeitos são resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentam outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Durante o processo de tratamento de água, os resíduos são gerados em diferentes etapas, como:

- limpeza do tanque de armazenamento e preparo de produtos químicos;
- limpeza dos flocladores;
- descarga de decantadores;
- lavagem dos filtros.

Conforme Grandin (1992), nos flocladores e nos tanques de produtos químicos são produzidos despejos por ocasião das lavagens periódicas e em volumes não significativos, contrariamente aos resíduos gerados nos decantadores e filtros.

Nos decantadores, o resíduo (também chamado de lodo) é oriundo da desestabilização das partículas de natureza química, física ou biológica, quando coagulantes como o sulfato de alumínio, são dispersos devido ao alto grau de agitação no processo de mistura rápida. As partículas desestabilizadas se agregam umas as outras, formando os flocos durante o processo de mistura lenta e posteriormente sedimentam (ANDREOLI et al., 2006).

A sedimentação é o fenômeno físico no qual, em decorrência da ação da gravidade, os flocos suspensos apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica, propiciando sua clarificação.

O resíduo dos filtros é composto principalmente por partículas argilosas muito finas, que não sedimentam nos decantadores, além de flocos que não foram retidos nos decantadores, entre outras. O método, a duração e a periodicidade das lavagens, dentre outros fatores, determinam a qualidade e quantidade dos resíduos gerados.

Neste trabalho, estudou-se apenas o resíduo gerado nos decantadores.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO GERADO NAS DESCARGAS DE DECANTADOR DE ETAS

A caracterização dos resíduos gerados nas ETAs é de extrema importância para o estudo de impacto ambiental e para a determinação dos métodos de tratamento e disposição final. As características do resíduo gerado nas descargas de decantadores em ETAs variam conforme: a qualidade da água bruta; o tipo e dosagens dos produtos químicos utilizados no tratamento da água; o tipo de decantador; além da forma de descarga dessas unidades de tratamento.

3.2.1 Fatores que influenciam as características do resíduo de decantador de ETA

3.2.1.1 *Qualidade da água bruta*

As características do resíduo de decantador sofrem variações com a qualidade da água bruta. Em épocas de intensas precipitações pluviométricas, pode ocorrer o carregamento de grandes quantidades de minerais e material orgânico depositados nas bacias hidrográficas para dentro dos mananciais, fazendo com que a água a ser tratada receba quantidades elevadas de partículas e que estas estejam presentes no resíduo do decantador (CORDEIRO, 1981).

Já épocas de baixas precipitações pluviométricas (estiagem), a turbidez da água reduz significativamente, podendo ocasionar alterações em seu tratamento, como dificuldade no processo de coagulação/floculação. Entretanto, essa dificuldade pode ser eliminada realizando ensaios de Jar Test para determinação das melhores dosagens.

Segundo Bache e Papavasiliopoulos (2003), para as águas com baixa turbidez e com cor, as características do resíduo são determinadas pelos materiais húmicos presentes na água e pelos produtos químicos utilizados no tratamento; diferentemente quando as águas possuem turbidez mais elevada, e as características do resíduo são determinadas pela própria turbidez.

3.2.1.2 Produtos químicos utilizados no tratamento da água

Com a crescente poluição dos mananciais e a necessidade de se produzir maior volume de água potável para abastecer a população, o uso de produtos químicos em maior quantidade e uso de possíveis produtos alternativos vem se tornando mais frequente.

A quantidade de produtos químicos nas etapas de coagulação e floculação está inteiramente relacionada à qualidade do manancial; à medida que a qualidade da água bruta decresce, a tendência é empregar maior quantidade de produtos.

Vários produtos químicos são utilizados no tratamento da água, podendo ser citados coagulantes, auxiliares no tratamento, tais como polímeros, carvão ativado e aqueles utilizados para ajuste de pH.

A utilização desses produtos influencia diretamente nas características dos resíduos gerados nas descargas dos decantadores. Conforme Demattos et al. (2001), cerca de 92% do lodo gerado nas ETAs é formado por produtos químicos utilizados no tratamento e os 8% correspondem às impurezas removidas na água. Segundo Barroso e Cordeiro (2002), a adição dos produtos contribui para a produção, em média, de 37% do total de sólidos gerados.

Tal diferença deve-se a escolha dos produtos químicos, bem como a melhor dosagem utilizada e o que se deseja remover. Para a remoção de componentes específicos, como exemplo o ferro e o manganês, é necessário pH mais elevado, devendo adicionar um alcalinizante, gerando mais resíduo.

A escolha adequada dos produtos e das dosagens empregadas nas ETAs bem como a determinação das condições de coagulação/floculação é fundamental para a eficiência dos processos de tratamento de água. Para tanto, podem ser realizadas previsões em escala laboratorial utilizando-se equipamento de Jar Teste, ou Teste de Jarros.

Os coagulantes normalmente utilizados para tratar a água são os sais de ferro (cloreto férrico, cloreto ferroso, sulfato ferroso) e sais de alumínio, como o sulfato de alumínio utilizado na Estação Engenheiro Rodolfo (ETA – Meia Ponte) em Goiânia/GO. Outros coagulantes têm sido estudados visando a sua aplicação no tratamento de água, como polímeros e coagulantes naturais.

A adição de coagulantes durante o tratamento pode resultar em um resíduo rico em ferro ou alumínio, conforme o produto químico utilizado. Tais resíduos também podem conter outros metais pesados provenientes da água bruta ou de contaminantes resultantes dos próprios coagulantes.

Segundo Scalize, Leite e Fornazzari (2010), a utilização de um coagulante com maior eficiência reduz a quantidade a ser aplicada e, por conseguinte, o volume de lodo gerado. Assim, deve-se considerar a quantidade de impurezas do coagulante, pois um coagulante de pior qualidade tende a exigir maiores dosagens, além de influenciar na qualidade da água final.

Quando aplicado à água, o sulfato de alumínio gera lodos que formam predominantemente hidróxidos de alumínio $[\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$. No entanto, existe diversas formas de monômeros, polímeros e óxidos de alumínio presentes na solução $(\text{Al}(\text{OH})^{+2}, \text{Al}(\text{OH})_2^{+1}, \text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{+4}, \text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{+5})$ (LUCIANO et al., 1998). De forma geral, a reação química que ocorre entre o sulfato de alumínio e água com alcalinidade natural é:



Os hidróxidos apresentam a capacidade de adsorver água em sua superfície, e sua abundante presença no lodo dificulta o desaguamento (LUCIANO et al., 1998). De acordo com Andreoli et al. (2006), esses hidróxidos também envolvem as partículas em suspensão, aumentando a capacidade de adsorção de metais e ânions.

Outro produto químico comumente utilizado no tratamento de água é o polímero – composto de alta massa molecular formado pela associação de subunidades de monômeros. O polímero dotado de cargas elétricas se denomina polieletrólito, podendo ser catiônico, quando a carga dominante é positiva; aniônico, quando há o predomínio de cargas negativas; ou não-iônico, quando não há carga elétrica ou há pouca carga (PACHECO, 1975). Segundo Filho (1985) *apud* Vanacôr (2005), muitas águas são bem clarificadas quando se aplica pequena quantidade de sulfato de alumínio e de polieletrólito catiônico. Em outras, exige-se alta dosagem de sulfato e o uso de polieletrólito aniônico para alcançar a melhor clarificação e rápida sedimentação dos flocos. A falta de polieletrólito no tratamento pode produzir flocos miúdos e dificultar a sedimentação.

Os polieletrólitos podem ser utilizados também no condicionamento químico do resíduo gerado na ETA. Pacheco (1975) afirma que no caso do resíduo de decantador, que possui alta concentração de sólidos com características gelatinosas, leve e de difícil manuseio, o uso desse produto resulta num lodo mais fácil de ser desidratado e disposto.

3.2.1.3 Tipo de decantador existente na ETA e o sistema de remoção de lodo

O tipo de decantador utilizado nas ETAs e os mecanismos de remoção do lodo alteram significativamente as características dos resíduos. Segundo Ribeiro (2007), a escolha

do processo de remoção dos resíduos deve ser estudada a fim de se evitar a perda direta de água parcialmente tratada e as perdas com os produtos químicos presentes nos flocos sedimentados.

Os decantadores convencionais sem equipamento de extração de lodo geralmente são limpos manualmente em intervalos de tempo de 20 dias a 3 meses em função da qualidade da água bruta. Nesse caso, é realizado o esvaziamento da unidade e a lavagem com jateamento de água sob alta pressão, acarretando perda de água tratada utilizada na limpeza e perda significativa da água floculada em forma de sobrenadante no tanque a ser lavado (REALI, 1999).

Conforme esse autor, nesse tipo de sistema, o gerenciamento dos resíduos é mais difícil, com a geração de lodo mais concentrado, se comparado ao proveniente dos decantadores de alta taxa ou convencionais com dispositivo de extração contínua de lodo. O acúmulo desse lodo por longos períodos de tempo possibilita a ocorrência de anaerobiose na massa do lodo (GRANDIN, 1992), podendo ocasionar a dissolução de metais presente no lodo, como alumínio, ferro, manganês e outros metais pesados.

O resíduo do decantador pode ser removido também com o emprego de equipamentos mecânicos, sendo justificado, conforme Vanacôr (2005), quando:

- a água bruta possui alta concentração de sólidos suspensos;
- a concentração de matéria orgânica é elevada;
- a matéria removida é rapidamente degradada; e
- a vazão da água bruta é superior a $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Segundo Reali (1999), a remoção contínua do lodo pode ser mecanizada ou hidráulica, tendo o decantador que possuir tubulações e demais acessórios que permitam a descarga de lodo em intervalos regulares de tempo, sem que seja necessária a interrupção do tratamento, como ocorre na ETA Engenheiro Rodolfo, em Goiânia/GO. A remoção com sistema de bombeamento automatizado é, em geral, programada para intervalos de 2 a 4 horas, com duração da ordem de 5 minutos.

3.2.2 Características físicas, químicas e bacteriológicas do resíduo de decantador

3.2.2.1 Características gerais

O resíduo de decantador das ETAs é considerado um resíduo inorgânico, composto principalmente por areia, silte, argila, poluentes, substâncias húmicas que são

carreados para água bruta e subprodutos gerados pela adição de produtos químicos a água (TEIXEIRA; MELO; SILVA, 2005).

A caracterização desse resíduo pode ser realizada por meio de parâmetros físicos como turbidez, cor, concentração de sólidos, resistência específica e adensamento; parâmetros químicos, como pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), concentração de íons metálicos (alumínio, ferro, manganês); e parâmetros bacteriológicos, como coliformes totais e termotolerantes.

As características físicas afetam significativamente as propriedades de espessamento e desaguamento do lodo. O teor de sólidos, resistência específica, compressibilidade, tensão de cisalhamento, densidade e tamanho das partículas, são propriedades físicas que podem influenciar o processo de desaguamento do lodo.

O Quadro 1 apresenta o resultado da caracterização do resíduo proveniente da descarga de decantador de diversas ETAs estudadas por autores brasileiros.

Na ETA Araraquara, o resíduo era removido até 03 (três) vezes ao dia. Nas ETAs Rio Claro e São Carlos a limpeza dos decantadores era realizada de forma tradicional, deixando acumular grande quantidade de lodo. Os resultados demonstram que as concentrações de metais, sólidos e DQO foram mais elevadas nos sistemas que efetuam limpezas em grandes intervalos de tempo, indicando o grande impacto que o acúmulo de lodos pode causar. Nos resíduos que apresentaram sólidos totais de 57.400mg/L e 58.630mg/L, o parâmetro cor e turbidez não foram determinados, visto a insignificância dos resultados. Deve ser lembrado que o impacto de um determinado resíduo é em função da sua concentração e do seu volume, ou seja, pode-se ter um resíduo com baixa concentração e um grande volume e vice-versa. Sendo assim, todos os resíduos causarão impactos, podendo ser mais ou menos diluído ao longo do tempo.

A ETA no Estado de São Paulo, que utiliza sulfato de alumínio como coagulante primário, faz limpeza dos decantadores em intervalos de tempo de aproximadamente 40 dias.

As ETAs de Suape, Gurjaú, Tapacurá, Alto do Céu, Caixa D'Água e Botafogo, localizadas na Região Metropolitana de Recife realizam o tratamento em ciclo completo e utilizam sulfato de alumínio como coagulante primário. A ETA Gurjaú apresenta um lodo com menor percentual de água em sua estrutura, enquanto o lodo da ETA Tapacurá possui maior umidade. De acordo com os autores, este fato pode estar relacionado com operação das estações, já que a ETA Gurjaú passa aproximadamente 120 dias sem realizar descargas, enquanto que na Tapacurá as descargas são efetuadas diariamente.

Quadro 1. Parâmetros físicos e físico-químicos determinados por pesquisadores brasileiros para resíduos provenientes da descarga de decantadores.

Parâmetros	Araraquara	Rio Claro	São Carlos	Alto do Céu	Botafogo	Caixa D' água	Gurjaú	Suape	Tapacurá	São Paulo
Sólidos (%)	0,14	5,49	4,68	-	-	-	-	-	-	-
Massa específica (g/cm ³)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,65
Umidade (%)	-	-	-	92,5	96,9	96,8	78,7	96,8	98,9	-
pH	8,9	7,4	7,2	5,9	6,3	5,7	6,2	6,0	6,5	6,4
Condutividade (μS/cm)	-	-	-	122	172	88	217	317	421	-
Cor (uC)	10.650	-	-	19.200	36.000	1.417	107.900	20.850	36.360	-
Turbidez (uT)	924	-	-	160.400	54.843	9.178	29.862	19.890	67.478	-
DBO (mg/L)	-	-	-	2.130	4.069	2.348	4.980	3.267	10.200	-
DQO (mg/L)	140	5.450	4.800	12.040	11.627	7.092	48.941	51.109	49.128	5.600
Sólidos totais (mg/L)	1.620	57.400	58.630	77.167	32.571	31.932	201.845	52.690	38.266	30.275
Sólidos totais fixos (mg/L)	-	-	-	61.142	24.367	23.126	165.819	42.207	24.084	22.324
Sólidos totais voláteis (mg/L)	-	-	-	16.025	8.204	5.135	37.905	10.483	14.181	7.951
Sólidos suspensos (mg/L)	775	15.330	26.520	15.165	28.450	30.383	52.186	19.372	7.291	29.891
Sólidos suspensos fixos (mg/L)	-	-	-	10.929	21.327	22.442	43.937	14.656	4.281	-
Sólidos suspensos voláteis (mg/L)	-	-	-	4.236	7.123	7.941	8.248	4.716	3.010	5.857
Sólidos dissolvidos (mg/L)	845	42.070	32.110	72	125	41	135	140	179	-
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	710
Alumínio (mg/L)	2,2	30	11.100	1.237	1.706	351	1.582	1.125	2.403	-
Fonte (ano)	CORDEIRO (2001)			TAVARES et al. (2009)						CORDEIRO (2003)

Quadro 1. Parâmetros físicos e físico-químicos determinados por pesquisadores brasileiros para resíduos provenientes da descarga de decantadores (*continuação*)

Parâmetros	Araraquara	Rio Claro	São Carlos	Alto do Céu	Botafogo	Caixa D'água	Gurjaú	Suape	Tapacurá	São Paulo
Zinco (mg/L)	0,1	48,5	4,3	-	-	-	-	-	-	-
Chumbo (mg/L)	0,0	1,06	1,6	-	-	-	-	-	-	-
Cádmio (mg/L)	0,0	0,27	0,02	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio total (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280
Níquel (mg/L)	0,0	1,2	1,8	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo (mg/L)	-	-	-	438,0	2.339,5	142,1	377,7	350,3	124,9	-
Ferro (mg/L)	214	4.200	5.000	1.398	531	22	104	492	248	-
Manganês (mg/L)	3,3	30	60	-	-	-	-	-	-	-
Cobre (mg/L)	1,7	0,9	2,1	-	-	-	-	-	-	-
Cromo (mg/L)	0,2	0,8	1,6	-	-	-	-	-	-	-
Fonte (ano)	CORDEIRO (2001)			TAVARES et al. (2009)						CORDEIRO (2003)

De acordo com Silva Júnior (2003), quando se trata do lodo oriundo do decantador de alta taxa o teor de sólidos varia entre 0,2 e 0,4% no período de chuva e 0,1 a 0,4% na estiagem.

O resíduo de decantador, cuja ETA utiliza o sulfato de alumínio possui coloração marrom, com viscosidade e consistência pastosa, e alta concentração de hidróxido de alumínio. Ele apresenta-se no estado gel quando em repouso, tornando-se relativamente fluido quando submetido a esforços cizalhantes, e geralmente é de difícil sedimentação, flotação e desidratação no estado natural, requerendo para tanto o condicionamento químico (CASTRO et al., 1997).

Segundo Silva Júnior (2003), esse resíduo apresenta pH na faixa de 5 e 7. A concentração de DBO, da ordem de 30 a 100 mg/L, geralmente é bem inferior que a de DQO, 500 a 10.000 mg/L, o que mostra sua baixa biodegradabilidade.

Machado, Carmo e Siqueira (2009) verificaram tais características em estudo desenvolvido na ETA Jaime Câmara, localizada em Goiânia/GO, que utiliza sulfato de alumínio como coagulante primário e os decantadores são limpos manualmente em intervalos de 15 a 35 dias. Estes autores não indicam a disposição do resíduo sem um tratamento de desinfecção adequado. Os resultados estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Característica do resíduo de decantador da ETA Jaime Câmara

Parâmetros	Resultados
pH	6,6
DBO (mg/L)	715
DQO (mg/L)	4.420
Alumínio (mg/L)	630
Ferro (mg/L)	4,9
Manganês (mg/L)	951
<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	55.766

Segundo Saneago (2009), na ETA Engenheiro Rodolfo, também conhecida como ETA – Meia Ponte, onde foi realizada a presente pesquisa, foram encontrados coliformes termotolerantes no resíduo, com valores de $1,6 \times 10^4$ NMP/100 mg, considerando o lodo úmido, e de 235 NMP/100 mg, no lodo seco. No resíduo não foram encontrados ovos de helmintos.

Cordeiro (1993) realizou exame do resíduo líquido da limpeza dos decantadores de uma ETA que utiliza sulfato de alumínio, e encontrou um número de coliformes totais igual a $2,4 \times 10^5$ NMP/100 mL. Segundo Andreoli et al. (2006) as características sanitárias do

resíduo são dependentes das condições sócio-ambientais e econômicas regionais. No estudo realizado em quatro ETAs da Região Metropolitana de Curitiba (Iguaçu, Itaquí, Irai, Passaúna) foi detectada em todas as ETAs a presença de coliformes termotolerantes (menor que $1,5 \times 10^1$ NMP/g ST).

Para Reali (1999), nas ETAs do tipo convencional de ciclo completo que utiliza como coagulante sais de alumínio ou ferro, o lodo corresponde de 0,1 a 1,5% do volume inicial de água bruta. Na ETA – Fonte de São Paulo, que utiliza cloreto férrico como coagulante, o volume de resíduo gerado nas descargas de decantadores corresponde a 3,3% do volume total de água aduzida (SCALIZE, 2003). Segundo Grandin (1992), o resíduo gerado nos decantadores com limpeza manual esvaziados em intervalos de 30 a 60 dias corresponde a cerca de 0,06 a 0,25% do volume de água tratada. De acordo com Castro et al. (1997), o resíduo gerado durante a descarga dos decantadores da ETA Rio das Velhas na Região Metropolitana de Belo Horizonte, a qual utiliza sulfato de alumínio como coagulante primário, corresponde a 0,21 a 2,92% da água bruta.

Saneago (2009) realizou a caracterização do resíduo dos decantadores e filtros da ETA – Meia Ponte. O Quadro 3 apresenta os resultados das análises de metais.

Quadro 3. Análises de metais do resíduo da ETA – Meia Ponte

Parâmetros	Resultados (mg/kg base seca)	Parâmetros	Resultados (mg/kg base seca)
Alumínio	47.614	Manganês	914
Antimônio	0,073	Mercúrio	0,505
Bário	2,97	Níquel	39
Berílio	1,203	Prata	109,5
Boro	38,095	Selênio	0,02
Cádmio	1,168	Urânio	97,4
Chumbo	10,403	Vanádio	147
Cobalto	27,189	Zinco	109,5
Cobre	61,429	Cálcio	1.381
Cromo	106,19	Magnésio	663
Ferro	23.000	Potássio	3.324
Fósforo	1.429,8	Sódio	400
Lítio	5,332		

Quanto ao valor da densidade para lodos de ETAs que utilizam sais de ferro ou alumínio, Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001) afirmam que pode ser assumido igual a 2.500 kg/m^3 . Segundo Richter (2001), pode-se adotar como densidade de sólidos secos o valor médio de 1.800 kg/m^3 , na estimativa de volume de lodo gerado em estações de

tratamento de água. De acordo com Wolfe (1996), a densidade aparente ou relativa do floco é utilizada como parâmetro prévio do teor de sólidos que poderá ser alcançado na torta após o desaguamento.

Knocke e Wakeland (1983) apud Silva Júnior (2003) observaram que existe uma relação entre a densidade aparente do floco e o teor de sólidos na torta após o espessamento: o aumento do teor de sólidos é proporcional ao aumento da densidade.

3.2.2.2 Características específicas

3.2.2.2.1 Resistência específica à filtração do resíduo do decantador

Uma das etapas principais do tratamento de resíduos é o processo de remoção de água. É importante estabelecer parâmetros que caracterizem os resíduos segundo a facilidade de desidratação através de filtros prensas ou a vácuo. Nos estudos realizados no Brasil, um dos parâmetros mais utilizado para esse fim é a resistência específica.

Segundo Richter (2001), esse parâmetro pode ser definido como sendo a resistência oferecida por um peso unitário de lodo por unidade de área de filtro, isto é, a dificuldade do resíduo em ser desaguado. Seu valor é inversamente proporcional a capacidade de filtração da água, ou seja, lodos com resistência específica menor são considerados de mais fácil deságue.

As características da água bruta, do coagulante, dos auxiliares de coagulação, dos processos de tratamento da água e do condicionamento químico do lodo, bem como a idade do lodo influenciam o valor da resistência específica do resíduo gerado nos decantadores das ETAs: lodos provenientes do tratamento de águas superficiais coaguladas no mecanismo de neutralização de cargas apresentam menor resistência específica; e é preferível desaguar o lodo ainda novo, condicionando-o com polieletrólito.

Segundo Reali (1999), os resíduos podem apresentar valores de resistência entre 5×10^{12} e 70×10^{12} m/Kg. No trabalho desenvolvido por Grandin (1992), com exceção do lodo novo dos decantadores sem condicionamento, que apresentou características boas de filtrabilidade com valor de $2,72 \times 10^{12}$ m/kg, os demais lodos não condicionados quimicamente apresentaram resistências específicas maiores que 5×10^{12} m/kg, sendo considerados de difícil desaguamento. Segundo este autor, de forma geral, os lodos com resistência específica superiores a 5×10^{12} m/Kg são considerados de difícil deságue; e com valores inferiores a 1×10^{12} m/Kg são fáceis de desaguar. De acordo com Wolfe et al. (1996), os lodos com resistência específica acima de 10×10^{12} m/kg têm baixa desaguabilidade.

De acordo com Almeida, Gonçalves e Guimarães (1991) numericamente a resistência específica pode se determinada por meio da equação 3.1:

$$r = \frac{2 \cdot b \cdot P \cdot A^2}{\mu \cdot c} \quad (3.1)$$

onde:

r = resistência específica (cm/g);

P = pressão de filtração (g/cm.s²).

A = área filtrante (cm²);

μ = viscosidade do filtrado (g/cm.s);

c = massa de sólidos da torta seca por unidade de volume filtrado (g/cm³);

b = valor da tangente no trecho retilíneo do gráfico “ t/v ” (s/cm³) versus “ v ” (cm³), resultante da equação 3.2:

$$b = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\left(\frac{t_2}{v_2} \right) - \left(\frac{t_1}{v_1} \right)}{v_2 - v_1} \quad (3.2)$$

em que:

t = tempo de filtração (s);

v = volume filtrado (cm³).

O valor de “ b ” é obtido construindo-se um gráfico no qual se tem os valores de “ v ” e “ t/v ”, conforme mostrado na Figura 1.

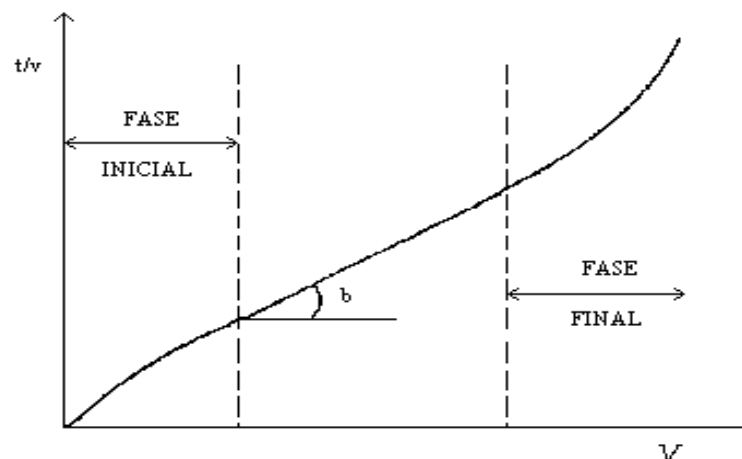


Figura 1. Gráfico típico dos valores de “ t/v ” em função de “ v ”, para obtenção de “ b ” no cálculo da resistência específica.

Fonte: ALMEIDA; GONÇALVES; GUIMARÃES (1991).

3.2.2.2.2 Sedimentabilidade do resíduo de decantador

A sedimentabilidade permite a separação de sólidos de um meio líquido sob a ação de forças gravitacionais. As partículas possíveis de serem separadas por sedimentação são classificadas em discretas e floculentas.

Segundo Grandin (1992), nos decantadores as partículas retidas são as do tipo floculentas, que tendem a sedimentar em conjunto, aumentando seu tamanho e peso, com velocidade de sedimentação variável e maior do que a inicial, formando uma interface entre o sobrenadante e os sólidos sedimentáveis. De acordo com Cordeiro (1981), quando essa interface inicia a compressão das camadas inferiores, ocorre uma zona de transição, caracterizada pela ocorrência de concentração crítica, na qual ocorre a compressão da camada inicial de sólido.

Geralmente, admite-se que quanto melhor o resíduo sedimenta e compacta, melhores são suas características de desidratação. Devido a baixa taxa de sedimentação de resíduos não condicionados, a aplicação do teste de sedimentação é praticamente limitada à determinação dos agentes condicionantes mais efetivos e sua dosagem ótima para melhorar a taxa de sedimentação e/ou taxa de filtração (GRANDIN, 1992).

O estudo da sedimentabilidade do resíduo também é importante na seleção do tipo de tratamento e ou disposição, como em lagoas de lodo. Conforme Grandin (1992), a aplicação do resíduo em lagoas de lodo tem como objetivo adensar e desidratar o lodo, e baseia-se no acúmulo de resíduo em tanques sofrendo um processo de adensamento por gravidade e desidratação por drenagem, evaporação e escoamento superficial.

A velocidade inicial de sedimentação do lodo de decantador, cuja ETA utiliza sulfato de alumínio é de 0,06 a 0,15 cm/s (MONTGOMERY, 1985 apud SILVA JUNIOR, 2003).

3.2.2.2.3 Desaguamento do resíduo do decantador por centrifugação

O grau de adensamento do resíduo gerado no decantador de ETA pode ser avaliado por meio do teste de centrifugação. Este teste se baseia em diversas operações de centrifugações com diferentes rotações para tempos diferentes e com concentrações variadas de polímero, conforme metodologia desenvolvida por Reali, Patrizzi e Cordeiro (1999).

A medição do nível de líquido clarificado em tempos diferentes para cada cubeta, e com o cálculo da concentração de SST para cada concentração de polímeros, permite gerar um gráfico de SST *versus* tempo, nas respectivas rotações.

O cálculo de SST se dá por meio da equação 3.3:

$$SST_i = \frac{M_{t_{inicial}}}{V_t} \quad (3.3)$$

onde:

SST_i = sólidos suspensos totais inicial (mg/L);

$M_{t_{inicial}}$ = massa total inicial de SS presentes na torta resultante após a centrifugação (mg);

V_t = volume total da suspensão (L).

Para tanto assume-se que o volume interno do frasco de centrifugação contendo a amostra de lodo é um sistema fechado, ou seja, sem perda de massa durante o ensaio; e todos os sólidos em suspensão presentes no lodo estarão contidos na torta final gerada durante a centrifugação de sólidos suspensos remanescentes no sobrenadante, após centrifugação.

Dessa forma, é válida também a expressão 3.4:

$$SST_r = \frac{M_{t_{final}}}{V_c} \quad (3.4)$$

onde:

SST_r = sólidos suspensos totais final na torta após centrifugação (mg/L);

$M_{t_{final}}$ = massa total final de sólidos suspensos presentes na torta resultante após centrifugação (mg);

V_c = volume resultante de torta após centrifugação (L).

Considerando o sistema fechado, obteve-se a expressão 3.5:

$$SST_r = SST_{inicial} \frac{V_t}{V_c} \quad (3.5)$$

3.3 MÉTODOS DE APROVEITAMENTO, TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUO DE ETA

No Brasil, a descarga direta de resíduos de ETA nos corpos hídricos tem sido a forma mais comum de disposição no meio ambiente. Essa prática é realizada por cerca de 70% dos municípios que geram lodo no processo de tratamento de água, como demonstra Quadro 4 (IBGE, 2008). Em Goiás, dos 83 municípios que geram resíduos durante o processo

de tratamento de água, cerca de 80% dispõe os resíduos diretamente nos corpos d'água, 17% em terrenos baldios e 1% na fabricação de tijolos, telhas e gesso ou na agricultura, como fertilizante e recompositor da camada superficial do solo.

Quadro 4. Destino dos resíduos gerados nas ETAs dos Distritos Brasileiros, considerando as Grandes Regiões.

Grandes Regiões	Total de municípios	Com geração de lodo no processo de tratamento da água							
		Total	Destino dos resíduos gerados nas ETAs						
			Rio	Mar	Terreno	Aterro Sanitário	Incineração	Reaproveitamento	Outro
Norte	449	84	46	-	14	2	-	3	23
Nordeste	1.793	537	231	5	261	14	1	24	61
Sudeste	1.668	896	703	-	105	53	-	10	94
Sul	1.188	442	330	2	59	11	-	11	54
Centro-Oeste	466	139	105	-	24	3	-	2	15
Goiás	246	83	68	-	14	-	-	1	6
Brasil	5.564	2.098	1.415	7	463	83	1	50	247

Nota: O município pode dar mais de um destino ao lodo gerado no processo de tratamento da água.

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008 (adaptado).

Os valores apresentados nessa pesquisa podem não indicar a realidade nas regiões. Atualmente, não se tem conhecimento de ETAs no estado de Goiás que fazem a disposição do resíduo em indústrias de fabricação de tijolos, telhas e gesso ou agricultura. Sabe-se que a grande maioria das ETAs destina os resíduos diretamente aos corpos d'água, e mais raramente em solo, como no caso da ETA Engenheiro Rodolfo, em Goiânia.

Segundo Silva Júnior (2003), a disposição nos corpos d'água pode causar sérios impactos físicos, químicos e biológicos no corpo receptor, conforme as características do resíduo, como: aumento na quantidade de sólidos em suspensão; assoreamento do leito; alterações na cor da água; aumento das concentrações de alumínio ou ferro; aumento da demanda de oxigênio; inibição da atividade biológica; influência negativa em áreas de criação e desova de peixes.

A legislação ambiental brasileira vem se tornando cada vez mais restritiva quanto aos padrões de lançamento de contaminantes no ar, no solo e na água. No caso do resíduo gerado nos decantadores, a legislação classifica-o como resíduo sólido, classe IIA, não inerte, em função de alguns elementos solubilizados nos ensaios de classificação em níveis acima dos limites tolerados para classificá-lo como inerte (ABNT, 2004), o que impede sua disposição direta em corpos d'água.

O tratamento e a disposição do lodo constituem atualmente em uns dos principais passivos ambientais do setor de saneamento. Entre os aspectos que dificultam a solução desses passivos estão os custos envolvidos. Embora esses custos sejam inicialmente

impeditivos, as técnicas aplicadas corretamente para tratar e dispor o resíduo constituem em oportunidade de redução dos impactos ambientais e redução de custos nas empresas de saneamento.

O gerenciamento do resíduo pode minimizar os impactos ambientais negativos, com a recuperação de água retornando ao sistema, diminuindo-se as perdas (RIBEIRO, 2007); utilização dos sólidos no aumento da turbidez ou simplesmente dando outra destinação, como para utilização na confecção de tijolos refratários, pavimentação de estradas.

De forma geral, as legislações cada vez mais restritivas, os altos custos associados a disposição de lodos em aterros, e aumento das dosagens de produtos químicos para o tratamento de água, tem levado os pesquisadores a buscar soluções mais adequadas para o tratamento e disposição final do resíduo de ETAs, como propõe esse estudo.

3.3.1 Disposição do resíduo no solo

A disposição do resíduo de ETA no solo tem se mostrado uma forma eficaz de gerenciamento, tanto do ponto de vista econômico, por ser uma técnica de fácil de aplicação, quanto do ponto ambiental. Teixeira, Melo e Silva (2005) mostraram em seu trabalho que dentre as formas de disposição no solo, uma alternativa para gestão deste resíduo é a sua aplicação em solo degradado, podendo gerar a recuperação destas áreas.

Segundo esses autores, em pesquisa realizada numa ETA convencional que utiliza cloreto férrico como coagulante, a aplicação do lodo de ETA em solos degradado pode gerar diversos benefícios, como elevação de pH e adição de macronutrientes.

Esse tipo de disposição apresenta-se com grande potencialidade, embora algumas desvantagens podem ser ressaltadas. Segundo Tsutiya e Hirata (2001), o lodo aplicado no solo tem a tendência de reagir e indisponibilizar à planta, o fósforo presente no solo, devido a presença de alumínio no lodo. Essa técnica pode apresentar outras desvantagens como o aumento da concentração de metais presentes no solo, uma possível diminuição da produtividade, possibilidade de contaminação de lençol freático se não realizada de forma adequada, em altas doses pode causar a salinidade do solo. Segundo Teixeira, Melo e Silva (2005) para fins de recuperação, sua aplicação deve estar associada a um resíduo orgânico (composto de serragem, esterco de bovino).

3.3.2 Recuperação do coagulante

Pesquisas indicam que lodos de ETA com expressivo teor de precipitado de hidróxido de alumínio apresentam grande potencial de recuperação de coagulante. Segundo Cordeiro (1981), para cada 1.000 kg de sulfato de alumínio adicionado no tratamento de água, aproximadamente 453 kg de hidróxido de alumínio é formado, além do material adsorvido para a formação do floco. Assim, com a recuperação do hidróxido de alumínio, a redução da quantidade de lodo a ser disposto é bem significativa, podendo chegar até 80% ou valores superiores.

A recuperação de coagulante pode ser efetuada em meio básico ou ácido, sendo o mais comum em meio ácido. De acordo com Xu (2009), a recuperação do alumínio apresenta a vantagem de tornar o lodo mais concentrado (menor volume), bem como aumentar a eficiência na remoção de turbidez quando utilizado o coagulante recuperado em detrimento ao coagulante comercial.

Em contrapartida a esses benefícios, Tsutiya e Hirata (2001) afirmam que o controle de metais pesados, compostos orgânicos e outras substâncias, tanto no lodo quanto na água tratada, é imprescindível, uma vez que a solubilização de hidróxidos pode disponibilizar à fase líquida outras espécies nocivas à saúde humana.

3.3.3 Co-disposição em cerâmica e matrizes de concreto

O aproveitamento do lodo de ETA na fabricação de cerâmica e de concreto está sendo investigado por diversos pesquisadores. Conforme estudo de Oliveira, Machado e Holanda (2004), o resíduo proveniente da ETA da região de Campos dos Goytacazes-RJ constitui-se num material com grande potencial para aproveitamento na indústria de cerâmica vermelha, se adicionado em quantidades adequadas. O resíduo de ETA apresentou comportamento físico-químico e mineralógico semelhante ao de algumas argilas cauliníticas da região de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha.

Hoppen et al. (2005) em seu estudo, propôs a co-disposição do resíduo da ETA de Passaúna, ainda úmido, em matrizes de concreto, substituindo-se parcialmente seus insumos: os agregados miúdos e o cimento, cuja extração e emprego também causam impacto ambiental. A análise dos resultados permitiu concluir que os traços de concreto com teores de lodo até 5% podem ser aplicados em situações que vão desde a fabricação de artefatos e blocos até a construção de pavimentos em concreto de cimento Portland. Em relação às

misturas com teores acima de 5%, a sua utilização é restrita a aplicações em que a trabalhabilidade não é um parâmetro primordial, como contrapisos, calçadas e pavimentos residenciais.

3.3.4 Redução do volume de água no resíduo de ETA

O deságue do resíduo de ETA é uma solução que visa minimizar os valores com os custos de transporte e disposição final dos mesmos. Uma seqüência eficiente para tal redução é o adensamento, seguido por desaguamento natural ou mecânico, como apontado. Em geral, é necessário fazer, após o adensamento e antes do desaguamento, o condicionamento do lodo. Em alguns casos o condicionamento se faz necessário antes mesmo da fase de adensamento como forma de obter um melhor resultado.

3.3.4.1 Condicionamento do resíduo

O resíduo, em estado natural, apresenta dificuldade na remoção de água, devido a fatores como: hidratação das partículas, que forma uma película líquida carregada negativamente impedindo a aproximação das mesmas para formação dos flocos; as partículas de lodo ser carregadas eletricamente e tenderem a se repelir e; a agitação durante seu processamento que pode reduzir o tamanho dos flocos e, conseqüentemente, aumentar a área superficial das partículas, impondo maior resistência à separação das fases sólida e líquida (DI BERNARDO; SABOGAL-PAZ, 2008).

A eficiência dos processos de adensamento e desaguamento do resíduo de ETA depende do condicionamento do lodo. De forma geral, o condicionamento atua sobre as características principais do lodo, como forma, tamanho, porosidade e distribuição do tamanho das partículas, carga superficial e grau de hidratação das partículas, para permitir a drenagem da água e aumentar o teor de sólidos. Segundo Wolfe et al. (1996), o condicionamento pode ser químico ou físico, dependendo das características dos resíduos, sendo necessário testes preliminares com diversos tipos de produtos químicos, a fim de selecionar aquele que proporcione melhores resultados.

Dentre os produtos químicos aqueles mais utilizados são os polímeros, naturais ou sintéticos, que podem aumentar a taxa de desaguamento, melhorar a captura de sólidos e reduzir os custos operacionais.

Teixeira e Ferreira Filho (1999) estudaram a influência do condicionamento do lodo no adensamento por sedimentação. Foram avaliados diferentes tipos e dosagens de polímeros, aplicados no lodo proveniente dos decantadores da ETA - Alto da Boa Vista, em São Paulo, que utiliza sais de ferro como coagulante. Os resultados, obtidos após ensaios em colunas de sedimentação, mostraram diferentes comportamentos de acordo com o polímero adicionado: os polímeros catiônicos e não-iônicos promoveram um aumento sensível da velocidade de sedimentação, enquanto o polímero aniônico atuou de forma contrária.

Ferreira Filho e Além Sobrinho (1998) em investigação das características do pré-condicionamento de lodos de ETAs visando o seu posterior adensamento por gravidade e desaguamento, concluiu que quanto maior a dosagem de polímero, maior foi a velocidade de sedimentação do lodo.

Os polímeros em solução atuam pela adesão às superfícies da partícula dos despejos causando a dessorção de água superficial quimicamente ligada, a neutralização da carga e a aglomeração entre pequenas partículas. Como resultado tem-se a formação de uma torta de lodo permeável, capaz de liberar água mais facilmente.

Wolfe et al. (1996) apresentaram uma outra abordagem sobre a ação dos polímeros em relação à distribuição de água no lodo. Segundo os autores, tanto a água removível dos flocos (água retida dentro dos flocos, de maneira similar a uma esponja) quanto a água capilar (água presa entre as partículas, devido a ação da capilaridade) podem ser removidas pela aplicação de pressão.

A pressão aplicada é a principal variável operacional no desaguamento: quanto maior a pressão aplicada, maior a concentração de sólidos na torta, tendo em vista que as parcelas de água removível e água capilar vão diminuindo simultaneamente. Para o maior valor de pressão aplicada, resta apenas a parcela de água não removível (água associada à superfície das partículas, também chamada de fração de água vicinal ou de hidratação).

Diante disso, os autores explicam que os polímeros interagem apenas com a superfície externa dos flocos sem alterar sua estrutura interna, isto é, o condicionamento não afeta nem as parcelas de água vicinal e de hidratação, nem o potencial de desidratação do lodo. Uma vez formada a estrutura do floco o único condicionamento que poderia afetar substancialmente a estrutura interna dos flocos seria pelo mecanismo de congelamento e descongelamento.

3.3.4.2 Adensamento do resíduo

O adensamento ou espessamento é uma das mais importantes operações unitárias do processo de tratamento da fase sólida, pois tem como finalidade a remoção da água e o aumento do teor de sólidos do lodo gerado. De um modo geral, os equipamentos de desaguamento mecânico existentes no mercado recomendam uma concentração de sólidos totais no lodo de entrada da ordem de 2% para que o seu funcionamento ocorra de forma adequada (FERREIRA FILHO; ALÉM SOBRINHO, 1998).

Os métodos mais comuns de adensamento são por gravidade, ou por flotação com ar dissolvido ou através de adensadores mecânicos do tipo centrífugas ou esteira.

Segundo Grandin (1992), um adensador por gravidade, atuando de forma eficiente, pode adensar o lodo deixando-o com teor de sólido na faixa de 1 a 2%. Usando pré-condicionamento com polímeros esta concentração pode atingir 5% ou mais. O outro processo de adensamento, por flotação, é menos utilizado e pode gerar lodo espessado com teor de sólidos que variam na faixa de 2,5 a 4%.

De acordo com Reali (1999), os lodos oriundos de ETAs, que utilizam sais de ferro ou alumínio como coagulante, apresentam maior dificuldade de adensamento por efeito somente da gravidade (2 a 5% de teor de sólidos), requerendo o pré-condicionamento químico com aplicações de polímeros orgânicos sintéticos. Entretanto, este mesmo lodo também pode ser condicionado com adição da cal, embora ocorra aumento significativo da massa de sólidos contida no lodo adensado (teor de sólidos finais na torta 6 a 9%).

Reali e Patrizzi (1999) apresentaram os resultados de um estudo de caso desenvolvido no programa Prosab, que investigou o adensamento de lodo de decantador da ETA Capim Fino que utiliza o sulfato de alumínio. O melhor resultado obtido para adensamento por gravidade com polímero catiônico foi a dosagem igual a 10,26 g/Kg de SST e teor de sólidos no lodo de 4,6%.

3.3.4.3 Desaguamento do resíduo

O desaguamento é uma operação física utilizada para reduzir o teor de umidade do lodo, acarretando com isso, a redução do volume do lodo e do custo de transporte, disposição final e consequentemente os riscos de poluição ao meio ambiente.

O desaguamento do resíduo de ETA pode ser natural ou mecânico, sendo este o mais indicado para ETAs que possuem pouca disponibilidade de área, que desejam elevada concentração de sólidos na torta e que o tratamento ocorra em curto período de tempo.

Alguns fatores podem interferir na eficiência do processo de desaguamento do resíduo, por exemplo, o mecanismo de coagulação e teor de matéria orgânica no flocos sedimentado. Segundo Nielsen et al. (1973) apud Silva Junior (2003), no caso de lodo gerado pela coagulação da água bruta com sais de alumínio, valores baixos de turbidez da água (4 UNT), anterior a unidade de filtração, indicam que o lodo é mais difícil de ser desaguado devido à alta concentração de hidróxido de alumínio no mesmo. A redução da concentração do hidróxido de alumínio no lodo pode contribuir, significativamente, com melhora no processo de desaguamento.

Wu, Huang e Lee (1997); Wolfe et al. (1996) verificaram que o lodo produzido por coagulação feita no mecanismo de varredura geralmente contém grande quantidade de água, devido o precipitado gelatinoso (hidróxido de alumínio hidratado) apresentar capacidade de adsorver água na sua superfície, por isso resulta em um lodo mais difícil de ser desaguado do que o gerado pelo mecanismo de neutralização de cargas.

Os equipamentos mecanizados utilizados no desaguamento do resíduo são: centrífuga, filtro prensa de placas, secadores elétricos e de esteira, prensa desaguadora e sistemas de desaguamento contínuo.

Uma das alternativas de desaguamento mecânico mais utilizada tem sido a centrifugação. O processo de desidratação por centrifugação utiliza-se da força centrífuga resultante da rotação rápida de um tambor, para acelerar a deposição de sólidos em sua parede e conseqüentemente promover a separação dos sólidos da fração líquida.

Para avaliar a eficiência do desaguamento de um determinado lodo, submete-se a amostra o deságue em centrífuga de laboratório, sob condições específicas, como propõe o teste de centrifugação realizado no presente trabalho. Conhecendo-se o teor de sólidos inicial da amostra de lodo, o volume submetido à centrifugação, e observando-se o volume de água clarificada ao final do período de centrifugação, é possível estimar o teor de sólidos no lodo por meio de balança de massa.

Segundo Guimarães (2007), é importante que a rotação da centrífuga seja expressa em termos do parâmetro G^* , que indica quantas vezes a intensidade da força centrífuga do equipamento de desidratação é maior que a intensidade do campo gravitacional. A grande vantagem da utilização desse parâmetro é o fato de G^* ser função do raio da centrífuga, o que permite a comparação entre diferentes equipamentos. O valor desse

parâmetro, para sistemas de centrífuga em geral, pode ser expresso pela equação 3.6 onde a rotação “R” deve ser expressa em rpm e o raio “ r_c ” em metros.

$$G^* = 4,024 \times R \times r_c \quad (3.6)$$

Para Novak e Calkins (1975) apud Silva Júnior (2003) o uso de centrífugas em escala de laboratório não tem a finalidade de produzir tortas com teor de sólidos esperado em escala real. A velocidade e o raio da centrífuga e, desta maneira, a força aplicada ao lodo será diferente entre a centrífuga de laboratório e a outra. Contudo, o método aplicado em escala de bancada produz valores para o sólido centrifugado que podem ser correlacionados com a instalação real.

Segundo Reali, Patrizzi e Cordeiro (1999) há quatro parâmetros de interesse quando da centrifugação: o grau de clarificação do líquido centrifugado, a capacidade de processamento e potência da centrífuga, o teor de sólidos da torta produzida e a dosagem requerida de polímeros. Esses quatro parâmetros são interdependentes e variam para cada tipo de lodo considerado.

As desvantagens comumente citadas para este tipo de equipamento são: a alta concentração de sólidos encontradas no líquido descartado pelo equipamento operando com lodos de ETAs, o barulho e as vibrações durante a operação e o relativo alto consumo de energia.

Os processos de desaguamento, geralmente falham na remoção da água vicinal e de hidratação. Com relação ao efeito da distribuição das frações líquidas do lodo no desaguamento, a água livre, maior parcela no lodo, pode ser facilmente removida pelos equipamentos mecânicos de desaguamento. Contudo, a água vicinal que representa menos de 10% do volume líquido do sedimento, é difícil de ser removida (WU e HUANG, 1997).

3.3.5 Uso do resíduo de decantador de ETA como auxiliar de floculação

A dificuldade de coagular compostos coloidais presentes na água tem sido controlada com a busca de métodos e produtos químicos que possam resolver esse problema. A formação de flocos pequenos, com baixa velocidade de sedimentação é na maioria das vezes decorrente de águas de baixa turbidez. Nessa situação, o estado de agregação é limitado, pois há um número insuficiente de partículas.

O aproveitamento do material sedimentado nos decantadores das ETAs como auxiliar no processo de coagulação/ floculação, fornecendo flocos maiores e mais densos, é

uma alternativa para melhorar essa situação (TSUYTA; HIRATA, 2001), diminuir a quantidade de produtos químicos utilizados no tratamento da água (CORDEIRO, 1981) e consequentemente reduzir os impactos negativos causados pela disposição final inadequada do resíduo.

Cordeiro (1981) com vistas à essa técnica, realizou ensaios em laboratório utilizando quatro tipos de água, preparadas com Kaolin (R-3 Fisher Scientific Company - USA). Realizando as análises em equipamento de Jar Test obteve os seguintes resultados:

- a aplicação do lodo de decantador deve ser feita preferencialmente, no tratamento de águas com baixa turbidez;
- uma redução de até 60% das dosagens ótimas de sulfato de alumínio e cal;
- a formação de flocos maiores e mais densos, com sedimentação imediata;
- uma pequena variação do pH do sobrenadante;
- a remoção de turbidez inicial maior para as águas de baixa turbidez;
- uma maior constante de agregação e menor constante de ruptura;
- a normalidade dos exames bacteriológicos do sobrenadante em relação a coliformes;
- a necessidade de se conhecer a quantidade de lodo a ser aplicada, para se evitar a queda na eficiência de sedimentabilidade dos flocos e aumentar o custo do tratamento da água.

Todavia, segundo Cornwell e Leer (1994), o uso dessa técnica, requer um estudo mais amplo para aplicação em escala real, e o constante monitoramento dos microrganismos e dos compostos químicos indesejáveis que o lodo pode acarretar ao sistema, como: cistos de *Giardia*, coliformes, trihalometanos, manganês, carbono orgânico assimilável e metais.

Segundo Brasil (2010), a reutilização é o processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química. Wu e Huang (1997) utilizaram o resíduo do decantador e da lavagem de filtros como auxiliar de floculação nos períodos de baixa turbidez da água. No trabalho foram realizados ensaios de sedimentação, dimensão fractal (utilizado para caracterizar a estrutura do resíduo a partir do diâmetro e densidade do floco), dilatometria (usado para analisar a parcela de água de hidratação presente no resíduo, baseando-se na teoria de que essa água permanece no floco a uma temperatura abaixo do ponto de congelamento). Após o processo de recirculação do resíduo, os autores concluíram que houve:

- a redução da relação da dose de coagulante e concentração de partículas, devido o aumento da concentração de partículas;
- a formação de flocos mais densos, sugerindo melhores características de desaguamento;
- o aumento da força iônica da água e da compactação da camada dupla do floco durante a floculação, devido o residual de coagulante presente no processo;
- o aumento da dimensão fractal dos flocos, indicando estrutura mais compacta;
- a redução da porosidade e do teor de água médio vinculado (13 a 24%) nos flocos.

Silva e Silva (2010) realizaram ensaios com o equipamento de Jar Test, verificando-se o comportamento de parâmetros de qualidade como turbidez, pH e cor da água bruta da ETA III (que capta a água no Ribeirão Garcia) com a adição do lodo seco da ETA II (que capta a água bruta no Rio Itajaí-Açu), proveniente do decantador e filtro. Foram adicionados 1 L da amostra de água bruta da ETA III em cada uma das 6 cubas, juntando a cada amostra simultaneamente 1, 5, 10, 15, 20 e 25 g de lodo seco da ETA II.

Considerando a turbidez da amostra, o estudo mostrou um aumento gradativo, quanto mais lodo se adiciona a água maior o valor da turbidez. Em relação ao pH da amostra, verificou-se uma diminuição, quanto mais lodo se adiciona a água menor o valor do pH medido.

Esse comportamento é justificado pela existência de um residual de sulfato de alumínio presente no lodo, que tem característica de baixar o pH. Tal fato não seria interessante para a ETA, pois um novo ajuste de pH da água na ETA seria necessário; mas poder-se-ia diminuir o consumo de coagulante adicionado.

Nesse estudo, o percentual de lodo a ser recirculado foi igual a 1 g/L, com aumento da turbidez de 1,2 para 23,3 UNT e aumento da cor na amostra de 47 para 183 uC.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada nos Laboratórios de Saneamento e de Sistemas Prediais da Escola de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Goiás (UFG) em Goiânia, Goiás, Brasil.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ETA – MEIA PONTE

A água bruta e o resíduo dos decantadores utilizados no presente estudo foram coletados na ETA Engenheiro Rodolfo José da Costa (ETA – Meia Ponte), que capta água do rio Meia Ponte. A ETA está localizada em Goiânia, Goiás, Brasil, com capacidade de tratamento de 1,98 m³/s e abastecimento de cerca de 50% da população goiana.

O total de água produzida por essa ETA, de acordo com os dados brutos apresentados pela Saneago, no ano setembro/2009 a setembro/2010 foi de 67.899.653 m³, com média de 5.223.050 m³/mês. Neste período, o volume de água perdida foi igual a 1.922.686 m³ referente à descarga dos decantadores, limpeza dos filtros, limpeza dos tanques de produtos químicos, manutenções na ETA. Essa perda representa em média 2,8% da água bruta que entra na ETA como ilustra a Figura 2.

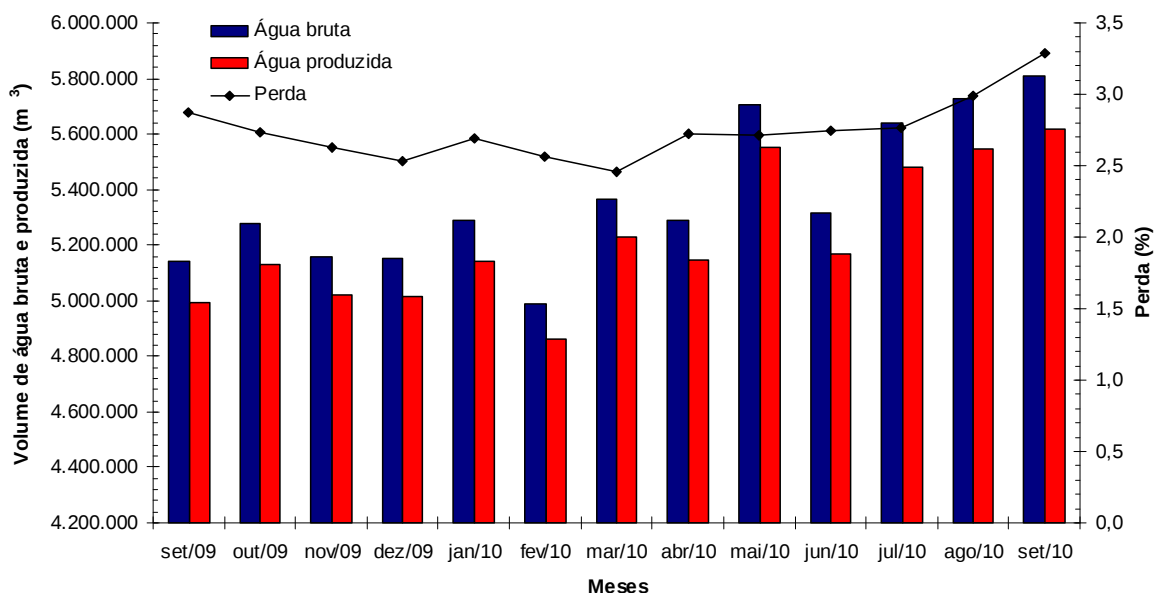


Figura 2. Volume de água bruta e de água tratada pela ETA – Meia Ponte e a porcentagem da água bruta perdida.

A ETA – Meia Ponte é classificada como do tipo ciclo completa, sendo composta por:

- calha Parshall com medição ultrasônica da vazão, onde se aplica o sulfato de alumínio, como ilustra a Figura 3;
- 3 (três) conjuntos de flocladores hidráulicos, com 4 (quatro) câmaras cada um;
- canal comum para passagem da água floclada aos decantadores;
- 3 (três) decantadores convencionais com raspadores mecanizados (velocidade constante igual 1,0 m/min) e descargas de fundo semi-contínuas realizadas a cada 1 hora, independente da posição da ponte raspadora e da qualidade da água bruta como ilustra a Figura 4;
- 6 (seis) filtros com 2 (duas) células cada, com dupla camada (areia e antracito).



Figura 3. Calha Parshall na entrada da ETA e local de aplicação de sulfato de alumínio



Figura 4. Decantador da ETA e raspador mecanizado

A estação possui ainda 2 (duas) lagoas de secagem de lodo, como ilustra a Figura 5. Para essas lagoas são destinados constantemente os resíduos provenientes da descarga dos decantadores e da lavagem de filtros. O recebimento de lodo pelas lagoas funciona de forma alternada: enquanto uma das lagoas está recebendo o lodo (lagoa em carga) na outra ocorre a secagem do lodo anteriormente enviado a ela, por um período de cerca de 1 ano. Após esse tempo o lodo já seco em uma das lagoas é retirado e depositado no solo próximo a estação. A lagoa em que se procedeu a limpeza passa a receber os resíduos da estação, enquanto na outra é cessado o envio do resíduo para iniciar o processo de secagem.



Figura 5. Lagoa de secagem de lodo

O coagulante primário utilizado na etapa de coagulação do tratamento da água na ETA – Meia Ponte é o sulfato de alumínio - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$. A coagulação ocorre pelo mecanismo de varredura.

O clima da região onde se localiza a ETA é do tipo, segundo Köppen, quente e semi-úmido com estação seca bem definida, de maio a setembro, e regime pluviométrico tropical, com temperatura média anual de $23,2^\circ\text{C}$, com as médias mínimas e máximas de $17,9^\circ\text{C}$ e $29,8^\circ\text{C}$, respectivamente (BRASIL, 1992).

4.2 ANÁLISES E EXAMES LABORATORIAIS

As análises e os exames laboratoriais realizados na pesquisa estão de acordo com as referências descritas na Tabela 1, que apresenta também, os métodos e equipamentos utilizados nos mesmos. Cabe destacar que os exames bacteriológicos e a séries de sólidos foram sempre realizados em duplicata.

Tabela 1. Métodos e equipamentos utilizados na determinação dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos.

Parâmetros	Referência (s)	Nº do método	Equipamentos
Turbidez	APHA (2005)	2130B	Turbidímetro mod. TB 1000, Tecnopon
Cor aparente	APHA (2005)	2120C	Espectrofotômetro mod. DR 890, Hach
Sólidos totais	APHA (2005)	2540B	Banho Maria; Estufa mod. EL 1.1 – Odontobras; Balança mod. AY220, Shimadzu
Sólidos fixos totais	APHA (2005)	2540 E	Mufla, Balança mod. AY220
Sólidos voláteis totais	APHA (2005)	2540 E	-
Sólidos suspensos totais	APHA (2005)	2540 D	Membrana; Estufa mod. EL 1.1; Balança mod. AY220.
Sólidos suspensos fixos	APHA (2005)	2540 E	Mufla, Balança mod. AY220
Sólidos suspensos voláteis	APHA (2005)	2540 E	
Sólidos dissolvidos totais	APHA (2005)	ST - SST	-
Sólidos dissolvidos fixos	APHA (2005)	SFT - SSF	-
Sólidos dissolvidos voláteis	APHA (2005)	SVT - SSV	-
Materiais sedimentáveis	APHA (2005)	2540 F*	Cone Imhoff
Sedimentabilidade	APHA (2005)	2710 C*	Cone Imhoff e cronômetro
Resistência específica	APHA (2005)	2710 H*	Bomba de vácuo; Estufa mod. EL 1.1; Balança mod. AY220
Desaguamento por centrifugação	REALI (1999)	-	Centrífuga Fanem mod. 208N
Coliformes totais	APHA (2005)	9223 B	Seladora Quanti-Tray Sealer; Lâmpada UV (390nm);
<i>Escherichia coli</i>	APHA (2005)	9223 B	Estufa Cultura mod. 002CB, Fanem

* adaptado

4.2.1 Sedimentabilidade do resíduo do decantador

A sedimentabilidade do material sedimentado na cuba do Jar Test foi determinada com o objetivo de avaliar o adensamento por gravidade do material, por exemplo, em tanque de lodo. Realizou-se a análise utilizando o cone Imhoff, conforme o procedimento descrito:

a) uma alíquota de volume variável (55 a 90 mL) composta de um pouco de sobrenadante e material sedimentado no fundo da cuba foi transferida para o cone, de forma homogeneizada, deixando-a sedimentar;

- b) a cada intervalo de tempo de 1 minuto foi realizada a leitura do volume ocupado pelos materiais sedimentáveis. O ensaio era interrompido após 10 minutos de sedimentação;
- c) o volume em função do tempo de sedimentação foram plotados em um gráfico.

A Figura 6 ilustra o procedimento realizado na análise de sedimentabilidade.

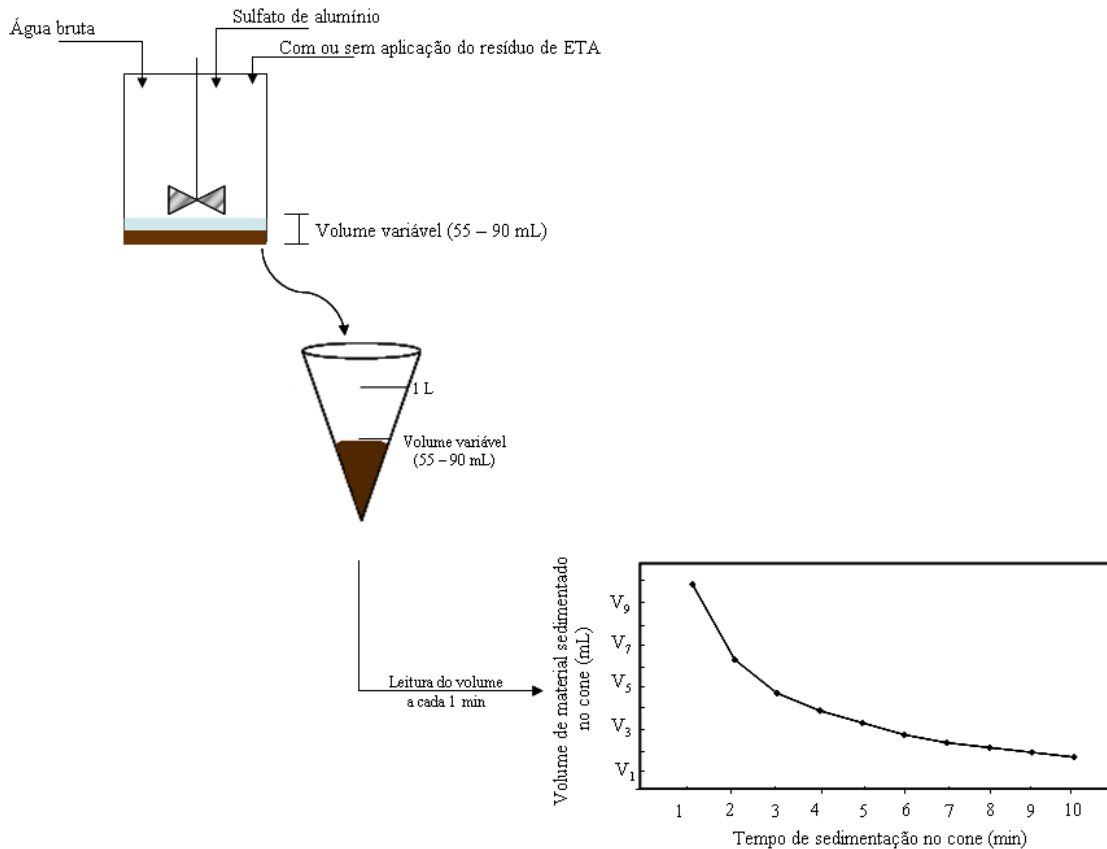


Figura 6. Fluxograma geral para análise de sedimentabilidade do material sedimentado

4.2.2 Resistência específica à filtração

O ensaio da resistência específica foi realizado com o objetivo de determinar a aptidão dos resíduos e dos materiais sedimentados ao desaguamento através de filtros prensas ou a vácuo, conforme indicado por Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001). Para tanto, foi realizado utilizando 25 mL devido a dificuldade encontrada para obtenção de um volume maior do material. O teste foi adaptado por Scalize e Di Bernardo (1999) com base no teste do tempo de filtração constante no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater publicado pela APHA (2005).

Para algumas amostras em estudo, o teste da resistência específica foi realizado em duplicata, seguindo o procedimento:

- a) o papel de filtro Whatman nº 42 foi recortado do tamanho interno do funil de Buchner, molhado e colocado em uma cápsula de porcelana sendo levado para o interior de uma estufa com uma temperatura de 100 °C, deixando durante 1 (uma) hora;
- b) após este tempo o material foi retirado da estufa deixando esfriar para a pesagem inicial;
- c) o papel de filtro, depois de pesado juntamente com a cápsula, era molhado e colocado no funil de Buchner. Em seguida, era aplicado um vácuo (380 mmHg) para que ocorresse aderência do papel ao funil e para remover o excesso de água;
- d) foi colocado o volume fixo de 25 mL do resíduo ou material sedimentado dentro do funil e aplicado vácuo ao sistema, registrando, em função do tempo, o volume do filtrado. Os valores de “t/v” em função de “v” foram plotados em um gráfico, obtendo-se o valor de “b” - coeficiente utilizado na equação 3.2 para o cálculo da resistência específica, através da regressão linear da reta de melhor ajuste. Após o término da filtração o ensaio foi encerrado;
- e) o papel de filtro com os sólidos foram retirados e colocados na cápsula de porcelana. Os sólidos presos ao funil foram removidos. A cápsula, juntamente com o papel de filtro e os sólidos retidos, foram para a estufa onde permaneceram para secagem durante no mínimo 1 (uma) hora;
- f) após seco, o papel de filtro e a cápsula eram pesados e, a diferença do peso inicial com o peso final fornecia a massa seca de ST utilizados no cálculo da resistência específica, empregados na equação 3.1. A Figura 7 ilustra os equipamentos e materiais utilizados no teste de resistência específica.



Figura 7. Equipamentos e materiais utilizados no teste de resistência específica.

4.2.3 Desaguamento do material sedimentado por centrifugação

4.2.3.1 Característica do polieletrólito

O polieletrólito utilizado no ensaio de centrifugação possuía a seguinte especificação técnica:

- Aparência: pó granular branco
- Caráter iônico: não iônico
- Densidade aparente: $0,80 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$
- Densidade de carga: neutra
- Peso molecular: alto peso
- Monômero de acrilamida residual <500: 89 ppm
- Viscosidade Brookfield de 1 a 5 g/L a 25 °C: 30 – 640 cps
- pH da solução a 1,0%: 4,0 a 7,0

O polieletrólito não iônico foi utilizado na pesquisa tendo em vista o pH do resíduo da ETA ser próximo a neutralidade. Segundo Di Bernardo, Scalize e Souza Filho (1999) geralmente, os polieletrólitos catiônicos funcionam melhor em valores de pH abaixo de 7,0 e os não iônicos e aniônicos, de modo geral, funcionam satisfatoriamente em valores de pH entre 6,5 e 8,5; com pH acima de 8,5, o polímero recomendado seria o aniônico.

O polieletrólito não iônico foi utilizado também devido outra ETA em Goiânia utilizá-lo como auxiliar de floculação no tratamento de água, facilitando a logística, e por ser indicado pelo fabricante como bom condicionante de resíduo para o deságue.

4.2.3.2 Procedimento para o ensaio de centrifugação

O ensaio de centrifugação foi realizado conforme o método proposto por Reali (1999):

- a) 10 mL do material sedimentado foram distribuídos em cada tubo de fundo cônico graduado;
- b) posteriormente foram acrescentadas diferentes dosagens de polieletrólito não iônico variando as relações massa (g) de polieletrólito por massa (kg) de SST (0; 2; 3; 4; 5; e 6 g poli/kg SST);
- c) os tubos foram agitados vigorosamente até a completa dispersão da solução do polieletrólito e colocados na centrífuga sendo submetidos a rotação de 3.000 rpm;
- d) a centrifugação foi interrompida em intervalos de tempo (2,5; 5; 7,5; 10; 15; 20; 30; 45 e 60 minutos) para efetuar a leitura do volume de lodo no fundo dos tubos;
- e) após 60 minutos a centrifugação foi interrompida e o sobrenadante coletado através de pipetagem, desprezando-se aproximadamente 0,5 cm do líquido próximo a interface

torta/líquido, de forma a evitar o arraste de sólidos presentes na torta. O sobrenadante foi caracterizado quanto à turbidez.

Este mesmo procedimento foi realizado na análise de centrifugação das amostras de resíduos de ETA aplicadas nos ensaios de Jar Test.

A Figura 8 ilustra o procedimento para realização do ensaio de centrifugação.

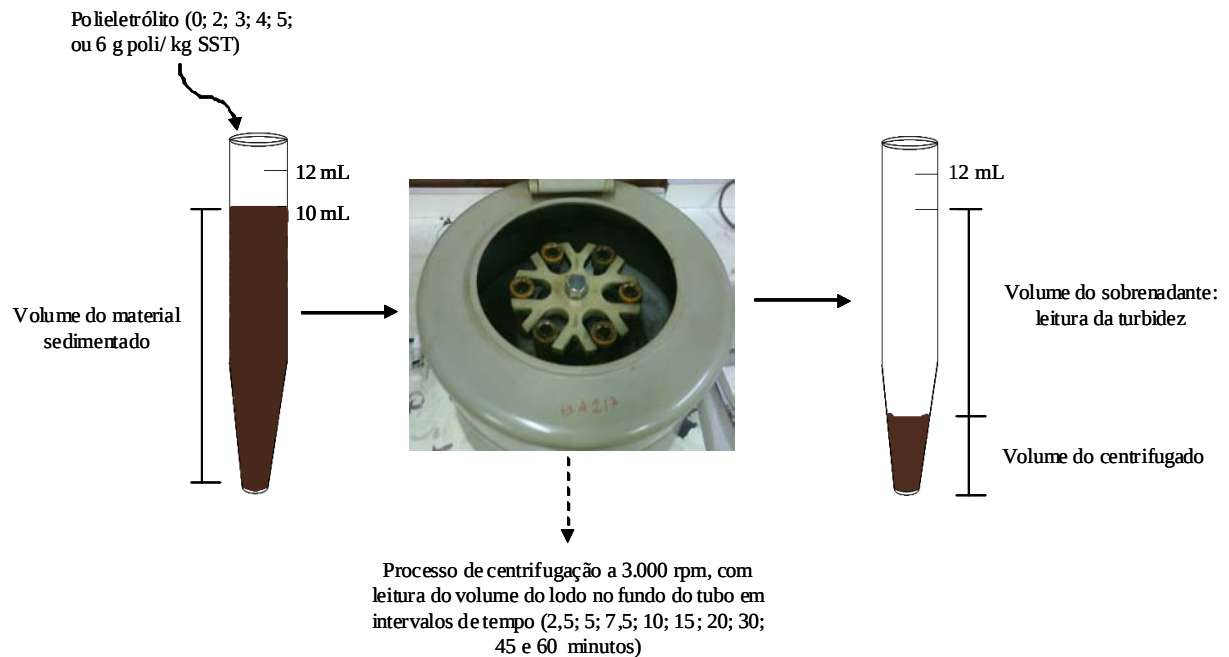


Figura 8. Procedimento para realização do ensaio de centrifugação

4.3 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA DA ETA

A água bruta para a pesquisa foi coletada por amostragem simples na caixa de chegada da ETA – Meia Ponte, com o auxílio de recipientes plásticos previamente limpos, nas datas: 12/05/2010, 27/11/2010, 18/12/2010, 15/01/2011. A água foi transportada da ETA ao laboratório de Saneamento, onde ficou armazenada em caixa plástica fabricada em polietileno, como ilustra a Figura 9. O tempo de armazenamento foi o suficiente para a realização dos ensaios, sem, contudo permitir a deterioração da água.

Inicialmente, foi coletada 01 (uma) amostra simples de água bruta para estudos preliminares, com o objetivo de verificar a dosagem de coagulante aplicada na ETA e seus efeitos na técnica proposta neste estudo.

Outras 03 (três) amostras simples de água bruta (cerca de 200 L cada), com características diferentes, foram utilizadas no estudo definitivo, a fim de avaliar a interferência da turbidez nos ensaios com aplicação do resíduo. Realizou-se 03 séries de ensaios, cada uma utilizando-se uma amostra diferente de água.



Figura 9. Caixa plástica utilizada no armazenamento da água bruta.

As amostras de água bruta foram caracterizadas por meio dos parâmetros apresentados na Tabela 2. Caracterizou-se também a água decantada produzida na ETA, quanto a turbidez e cor aparente.

Tabela 2. Parâmetros de caracterização da água bruta

Parâmetros	Unidades
pH	-
Cor aparente	PtCo
Turbidez	UNT
Matéria orgânica	mg/L
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L
Sólidos Totais	mg/L
Sólidos Fixos Totais	mg/L
Sólidos Voláteis Totais	mg/L
Sólidos Suspensos Totais	mg/L
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L
Sólidos Dissolvidos Fixos	mg/L
Sólidos Dissolvidos Voláteis	mg/L
Coliformes totais	NMP/100 mL
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL

As amostras coletadas foram analisadas o mais breve possível para evitar alterações em suas características.

4.4 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DOS DECANTADORES DA ETA

O resíduo utilizado na pesquisa foi coletado, por amostragem simples, na entrada da lagoa de lodo em carga, como mostra a Figura 10, tendo o cuidado em coletar apenas o resíduo oriundo das descargas dos decantadores.



Figura 10. Ponto de coleta do resíduo dos decantadores na lagoa de lodo em carga

Não houve preocupação em coletar amostras homogêneas e compostas, em virtude das grandes oscilações que podem ocorrer na geração dos resíduos, em relação à forma de limpeza dos decantadores nas diversas ETAs, e em virtude da manipulação do resíduo para obtenção de variadas concentrações de SST.

As amostras do resíduo dos decantadores aplicadas nos ensaios de Jar Test foram preparadas para apresentar diferentes teores de SST, deixando sedimentar o resíduo bruto e adicionando ou retirando parte do sobrenadante. Desta forma, preparou as amostras com teor de SST da ordem de 1.500, 3.000, 4.500, 6.000, 9.000, 12.000 e 15.000 mg/L, caracterizando-as quanto aos parâmetros apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros utilizados na caracterização das amostras de resíduo aplicadas nos ensaios de Jar Test

Parâmetros	Unidades
Sólidos Totais	mg/L
Sólidos Fixos Totais	mg/L
Sólidos Voláteis Totais	mg/L
Sólidos Suspensos Totais	mg/L
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L
Sólidos Dissolvidos Fixos	mg/L
Sólidos Dissolvidos Voláteis	mg/L
Resistência específica	m/kg
Ensaio de centrifugação após 60 min:	
• Melhor dosagem de polieletrólito	g polieletrólito / kg SST
• SST _r no centrifugado	mg/L

4.5 APLICAÇÃO DO RESÍDUO DOS DECANTADORES DA ETA NO TRATAMENTO DE ÁGUA

A aplicação do resíduo dos decantadores da ETA no tratamento de água se deu por meio de ensaios de bancada utilizando o equipamento de reatores estáticos - Jar Test. A Figura 11 apresenta o fluxograma geral da pesquisa.

4.5.1 Ensaios de Jar Test

O equipamento de Jar Test utilizado foi o modelo Nova Ética 218/LDB 06, que possui seis cubas quadradas com capacidade de 2 L cada, em acrílico transparente, com controle automático de velocidade. A velocidade máxima de rotação é de 600 rpm, com gradiente de velocidade entre 10 e 2.000 s⁻¹.

O equipamento possui também iluminação na parte inferior das cubas, facilitando a visualização dos flocos formados durante os ensaios, mecanismo para aplicação simultânea de produtos químicos em todas as cubas e dispositivo para coleta simultânea de amostras de água decantada.

Os ensaios de Jar Test foram realizados conforme as etapas descritas por Di Bernardo, L., Dantas e Centurione Filho (2002), a saber:

- homogeneizou-se a água bruta armazenada na caixa d'água, e colocou uma porção de 2 L em cada uma das 06 (seis) cubas do equipamento. Fez-se a caracterização dessa amostra de água por meio dos parâmetros de cor aparente e turbidez. Para a obtenção da água à temperatura de análise (25 °C), utilizou-se a incubadora de DBO programada a esta temperatura, garantindo que toda a amostra fosse mantida sob a mesma temperatura;
- posteriormente, colocaram-se os volumes correspondentes às dosagens de coagulante e de resíduo nos seus respectivos recipientes de aplicação simultânea, e posicionaram os recipientes de descarte e coleta de amostra de água decantada. A fim de se reproduzir o tratamento da água efetuado na ETA e avaliar o desempenho geral da técnica proposta no estudo, utilizou-se em uma cuba apenas a dosagem de coagulante empregada na ETA, sem a aplicação do resíduo (chamado de branco);

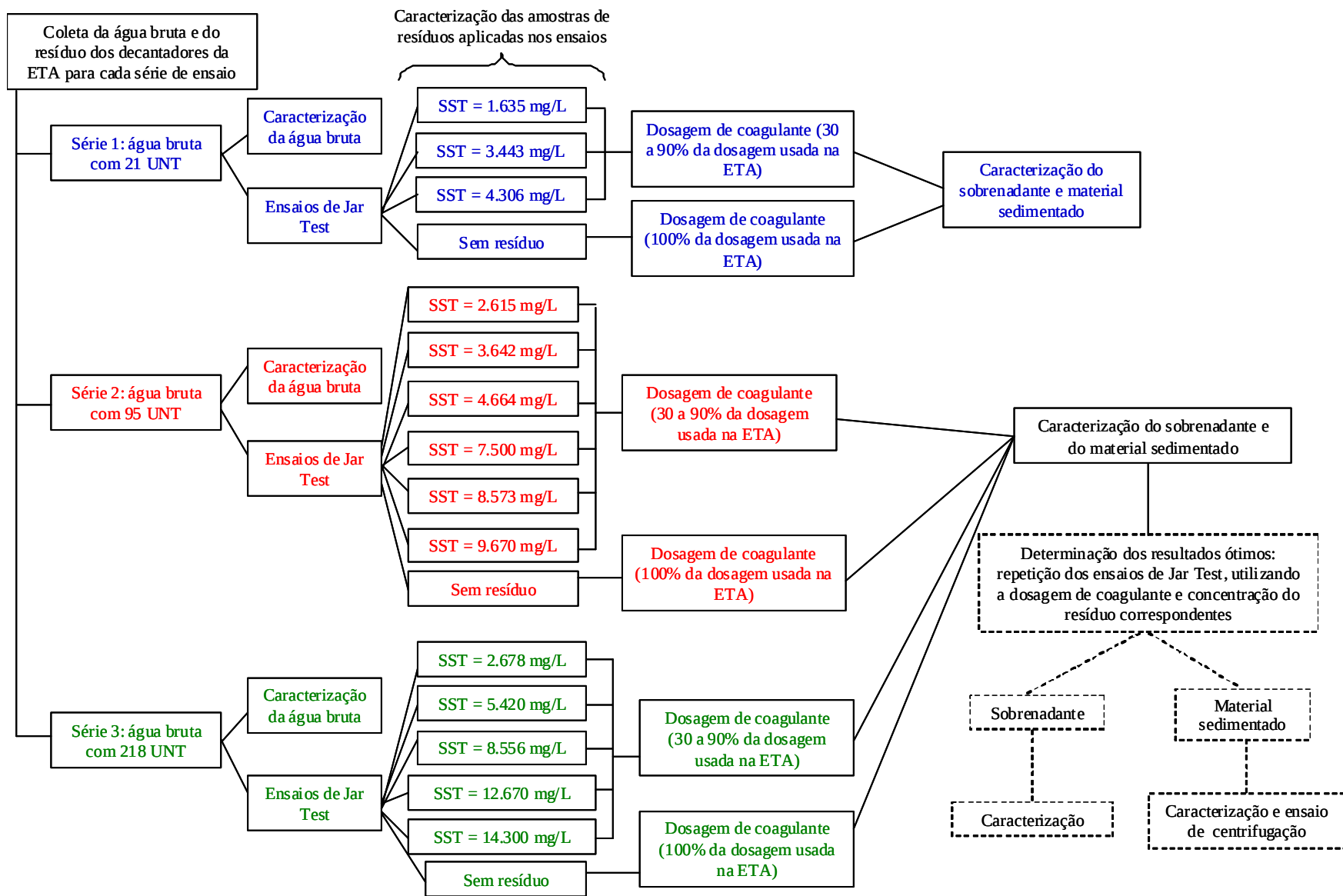


Figura 11. Esquema geral da pesquisa.

- ligou-se o equipamento de agitação e acertou a rotação correspondente a gradiente de mistura rápida (G_{mr}), como apresenta a Tabela 4. Adicionou às cubas o volume preestabelecido de coagulante e aguardou o primeiro tempo de mistura rápida (T_{mr1}). Manteve-se a rotação do equipamento, adicionou o resíduo às cubas e aguardou o segundo tempo de mistura rápida (T_{mr2});
- ajustou-se a rotação equivalente ao gradiente de floculação do primeiro floculador da ETA (G_{f1}) e aguardou o tempo de floculação (T_{f1}). Em seguida, fez-se o ajuste da rotação sucessivamente e equivalentes aos gradientes de floculação do segundo (G_{f2}) e terceiro floculadores da ETA (G_{f3}), aguardando os respectivos tempos de floculação (T_{f2} e T_{f3});
- finalizado o T_{f3} , desligou a agitação, e esperou o tempo de sedimentação (T_s) para a coleta das amostras;
- após o T_s e antes do início de cada coleta, descartou-se 50 mL de água decantada visando minimizar a interferência da água remanescente na mangueira de coleta. Foi retirada uma alíquota do sobrenadante de cada cuba, a 7 cm da superfície, para caracterização como detalhado posteriormente.

Tabela 4. Valores dos parâmetros de mistura rápida, floculação e sedimentação para ensaios de Jar Test.

Etapas	Parâmetros	Valores	Unidades
Mistura rápida	G_{mr1}	200	s^{-1}
	T_{mr1}	60	s
	T_{mr2}	20	s
Floculação	G_{f1}	50	s^{-1}
	T_{f1}	12	min
	G_{f2}	30	s^{-1}
	T_{f2}	06	min
	G_{f3}	20	s^{-1}
	T_{f3}	06	min
Sedimentação	T_s	5	min

Os valores dos parâmetros de mistura rápida, floculação e sedimentação utilizados nos ensaios de Jar Test foram os mesmos utilizados nos ensaios de Jar Test na ETA, e consequentemente, àqueles empregados no tratamento da ETA.

Em todos os ensaios manteve-se o volume total de água bruta (2 L em cada cuba) mesmo com a adição de 40 mL de resíduo, visto que a diferença nas dosagens do coagulante com a redução do volume de água para 1,96 L era insignificante. Esse fato implicou no incremento da vazão de água a ser tratada.

Segundo Souza e Scalize (2010), o resíduo de decantador de ETA ao ser aplicado no tratamento da água atua de forma mais eficiente como auxiliar de floculação, sendo nessa pesquisa utilizado como tal e, portanto, adicionado após a mistura rápida do coagulante. Segundo Saron e Silva (1997), ao se adicionar flocos de $\text{Al}(\text{OH})_3$ presentes no resíduo à água coagulada, eles atuam como núcleos de formação auxiliando o processo de floculação, e os vários íons de alumínio formados na coagulação da água tenderão à uma agregação de melhor eficiência.

Os ensaios de Jar Test foram realizados em triplicata. Foram calculadas as médias aritméticas simples dos resultados obtidos em cada cuba.

a) Estudo preliminar da dosagem de coagulante utilizada na ETA

Inicialmente, uma amostra de água bruta coletada na ETA foi analisada por meio de ensaios de Jar Test, utilizando 50 a 100% da dosagem empregada na ETA (31 mg/L), sem aplicação de amostra de resíduo.

Ao se determinar a melhor dosagem de coagulante, por meio da eficiência da remoção de cor e turbidez do sobrenadante, foram realizados novos ensaios de Jar Test reduzindo essa dosagem e aplicando a amostra de resíduo (40 mL) com teor de SST da ordem de 1.500 mg/L. Também foram realizados ensaios reduzindo a dosagem aplicada na ETA e aplicando a amostra de resíduo.

A água decantada foi caracterizada quanto à cor aparente e turbidez.

4.5.2 Quantificação das melhores dosagens de coagulante e melhores concentrações do resíduo nas séries de ensaios

Nas três (03) séries de ensaios de Jar Test utilizou-se como dosagem inicial de coagulante aquela aplicada na ETA, como apresentado no Quadro 5. As dosagens foram variadas de 30 a 90% da dosagem empregada na ETA, a fim de se encontrar a melhor dosagem com a aplicação do resíduo.

Quadro 5. Dosagens de sulfato de alumínio utilizadas no tratamento de água da ETA

	Séries de ensaios de Jar Test		
	1	2	3
Dosagem de sulfato utilizada na ETA (mg/L)	16	28	35

Para determinar a melhor concentração do resíduo dos decantadores, manteve-se constante o volume de resíduo (40 mL) aplicado em cada cuba do Jar Test; e utilizou as amostras manipuladas com diferentes concentrações de SST.

No presente trabalho optou-se por utilizar 40 mL de resíduo, representando cerca de 2% da água bruta, pois a perda total de água estimada para a ETA em estudo era em média 2,8% da água bruta. Os autores pesquisados como referência para a realização deste trabalho indicavam uma faixa de geração de resíduo próxima a 2% do volume da água bruta a ser tratada. Como exemplo, Castro et al. (1997) afirmam que o resíduo gerado na descarga dos decantadores da ETA Rio das Velhas na Região Metropolitana de Belo Horizonte que utiliza sulfato de alumínio como coagulante primário, corresponde a 0,21 a 2,92% da água bruta.

4.5.2.1 Avaliação da remoção de cor e turbidez do sobrenadante

A alíquota de sobrenadante, coletada após a finalização do ensaio de Jar Test, foi caracterizada quanto a turbidez e cor aparente. Com esses resultados determinou-se a eficiência de remoção desses parâmetros utilizando-se a equação 4.1.

$$E = 100 - \frac{X_r - 100}{X_0} \quad (4.1)$$

Onde,

E = eficiência de remoção da turbidez ou cor;

X_R = turbidez ou cor remanescente no sobrenadante;

X_0 = turbidez ou cor da amostra de água bruta utilizada no ensaio.

Para a avaliação das melhores dosagens de sulfato de alumínio, foram construídos gráficos plotando-se as eficiências de remoção de turbidez e cor do sobrenadante e as dosagens de coagulante utilizadas, como ilustra a Figura 12. Nesses gráficos, plotaram-se ainda as eficiências de remoção de cor e turbidez obtidas quando não houve aplicação do resíduo (branco - E_r).

A alíquota de sobrenadante foi caracterizada quanto à concentração de SST a fim de verificar a correlação entre SST e turbidez da água.

4.5.2.2 Análise do material sedimentado na cuba de Jar Test

Posteriormente à coleta das amostras do sobrenadante no ensaio de Jar Test, o restante do sobrenadante foi retirado com o auxílio do dispositivo de coleta de amostras e de

uma bomba a vácuo, com adaptação de uma pipeta na extremidade, conforme Figura 13. Na cuba restou um volume variável (55 a 90 mL) composto de um pouco de sobrenadante e material sedimentado no fundo da cuba.

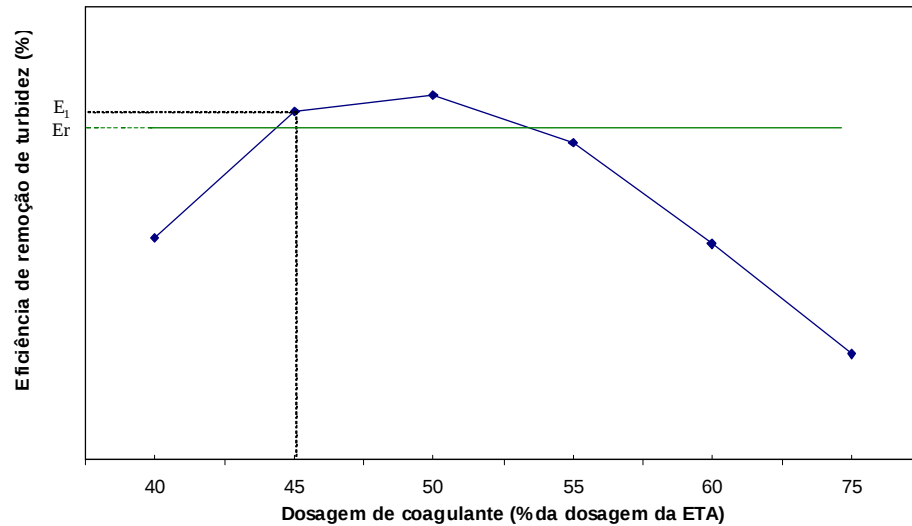


Figura 12. Curva típica para determinação da melhor dosagem de coagulante.

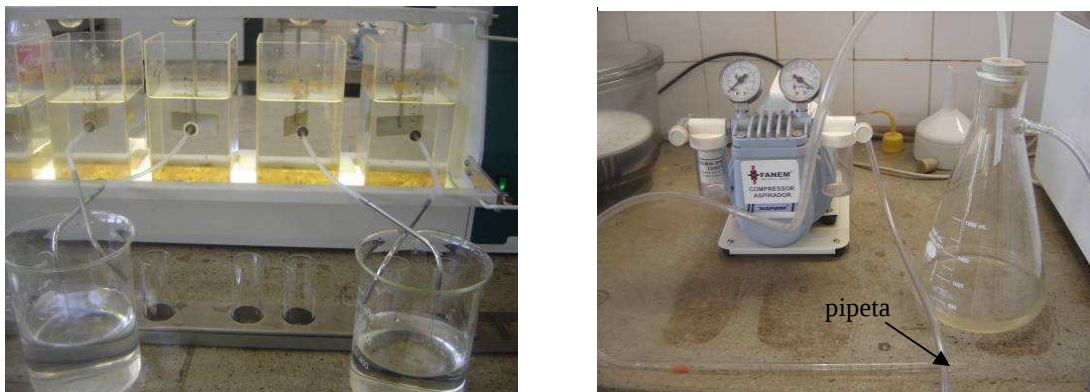


Figura 13. Mecanismo para remoção do excesso de sobrenadante

Esse método foi utilizado para minimizar a turbulência no sobrenadante e o revolvimento do resíduo sedimentado. O material foi transferido para um cone Imhoff e após 10 minutos fez-se a leitura do volume do material sedimentado, conforme ilustrado na Figura 14.

Com os resultados obtidos e com o intuito de avaliar a concentração de materiais sedimentáveis na cuba de Jar Test foram construídos gráficos plotando a concentração obtida em função da dosagem de sulfato de alumínio utilizada no ensaio.

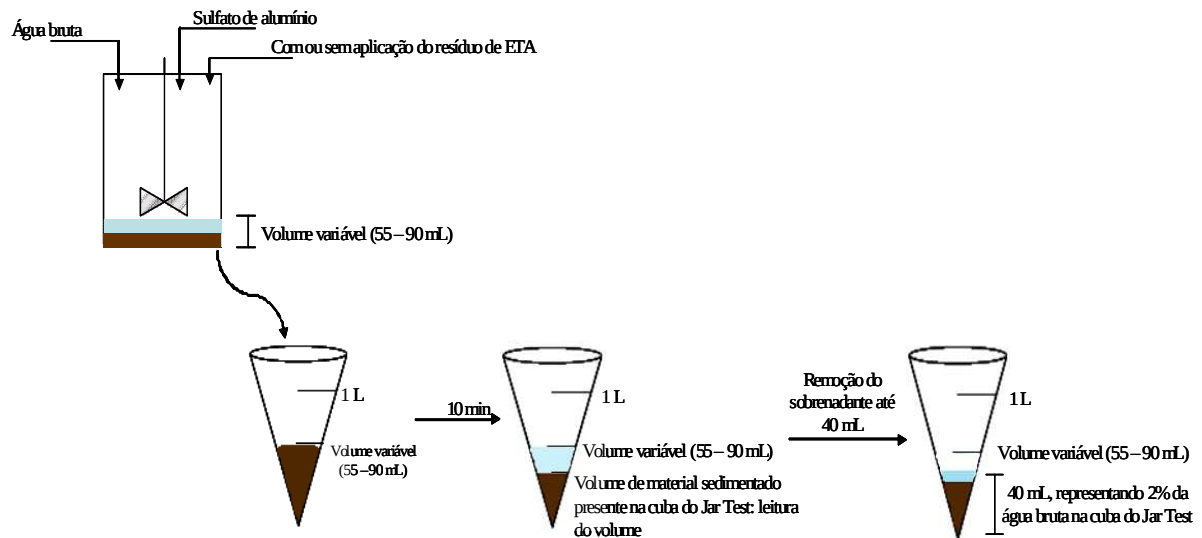


Figura 14. Esquema geral para a avaliação do material sedimentado na cuba de Jar Test em todos os ensaios.

4.6 APLICAÇÃO DO RESÍDUO DOS DECANTADORES DA ETA NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA OS MELHORES RESULTADOS

4.6.1 Determinação dos melhores resultados

Os melhores resultados trabalhados foram aqueles que concomitantemente atenderam aos seguintes critérios:

- remoção satisfatória de turbidez, ou seja, remoção de turbidez do sobrenadante igual ou superior à remoção desse parâmetro na cuba onde não foi aplicado o resíduo (branco);
- menor dosagem de coagulante aplicada no tratamento; e
- aplicação do resíduo com maior concentração de SST.

Tendo em vista a operação da ETA, os melhores resultados foram aqueles em que se utilizou a concentração do resíduo que atendeu os critérios descritos neste item, em todas as séries de ensaios.

4.6.2 Análise do sobrenadante nos melhores resultados

Para os 03 melhores resultados obtidos nas séries de ensaios 2 e 3 (um sem aplicação do resíduo e os outros dois referentes a técnica e operacionalidade da ETA) foram realizados outros ensaios de Jar Test, seguindo a mesma metodologia, utilizando-se as dosagens de coagulante e concentração de resíduo correspondentes.

Tendo em vista que o volume de material sedimentado obtido nos ensaios de Jar Test era pequeno para a caracterização e o estudo de deságue por centrifugação, os ensaios foram realizados em réplicas, permitindo a geração de uma quantidade maior de material. Após os ensaios, as amostras do sobrenadante foram caracterizadas quanto aos parâmetros expostos na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros para a caracterização do sobrenadante nos melhores resultados

Parâmetros	Unidades
Cor aparente	PtCo
Turbidez	UNT
Sólidos Totais	mg/L
Sólidos Fixos Totais	mg/L
Sólidos Voláteis Totais	mg/L
Sólidos Suspensos Totais	mg/L
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L
Sólidos Dissolvidos Fixos	mg/L
Sólidos Dissolvidos Voláteis	mg/L
Coliformes totais	NMP/100 mL
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL

4.6.3 Análise do material sedimentado nos melhores resultados

O material sedimentado gerado após as réplicas dos ensaios de Jar Test foi removido seguindo a mesma metodologia exposta anteriormente e caracterizado quanto aos parâmetros apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Parâmetros para a caracterização do material sedimentado nos melhores resultados

Parâmetros	Unidades
Sólidos Totais	mg/L
Sólidos Fixos Totais	mg/L
Sólidos Voláteis Totais	mg/L
Sólidos Suspensos Totais	mg/L
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L
Sólidos Dissolvidos Fixos	mg/L
Sólidos Dissolvidos Voláteis	mg/L
Materiais sedimentáveis	mL/L
Sedimentabilidade	-
Resistência específica	m/kg
Ensaio de centrifugação após 60 min:	
• Melhor dosagem de polieletrólito	g polieletrólito/ kg SST
• SST _r no centrifugado	mg/L

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA

A amostra de água bruta coletada na ETA – Meia Ponte e utilizada no estudo preliminar foi caracterizada e o resultado encontra-se na Tabela 7.

Tabela 7. Caracterização da amostra de água bruta no estudo preliminar

Parâmetros	Resultados
pH	7,8
Turbidez (UNT)*	554
Cor aparente (PtCo)*	1.401
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	38
Matéria orgânica (mg/L)	10,6

* média das amostras ensaiadas

As amostras de água bruta coletadas na ETA e utilizadas nas séries de ensaios 1, 2 e 3 foram caracterizadas e os resultados encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8. Caracterização das amostras de água bruta utilizadas nas séries de ensaios de Jar Test

Parâmetros	Série de ensaios		
	1	2	3
Data da coleta	12/05/2010	18/12/2010	15/01/2011
pH	7,7	7,3	7,2
Turbidez (UNT)*	21	95	218
Cor aparente (PtCo)*	194	1.071	1.509
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	50	43	42
Matéria orgânica (mg/L)	2,0	6,5	7,7
Sólidos Totais (mg/L)	109	231	422
Sólidos Fixos Totais (mg/L)	NP	146	260
Sólidos Voláteis Totais (mg/L)	NP	85	162
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	10	121	140
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	NP	93	114
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	NP	28	26
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	99	110	282
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	NP	53	146
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	NP	57	136

* média das amostras ensaiadas

NP – Não pesquisado

O pH da água bruta não sofreu variação considerável nas amostras utilizadas no estudo, estando dentro da faixa indicada para a aplicação do coagulante sulfato de alumínio.

A alcalinidade da água apresentou pequena variação entre as amostras. Segundo Di Bernardo (1993), as principais substâncias responsáveis por conferir alcalinidade aos ecossistemas aquáticos são os bicarbonatos, os carbonatos e os hidróxidos, sendo que a distribuição entre as três formas ocorre em função do pH: 4,4 a 8,3 (bicarbonatos); 8,3 a 9,4 (carbonatos); 9,4 a 12,3 (hidróxidos e carbonatos). Como o pH do rio Meia Ponte esteve sempre próximo a 7,5, toda a alcalinidade deveu-se aos bicarbonatos. No tratamento de água, a alcalinidade influi consideravelmente na coagulação química, já que o sulfato de alumínio utilizado no processo é doador de prótons em solução e consome a alcalinidade. No caso do rio Meia Ponte, a alcalinidade manteve-se satisfatória para o processo de tratamento de água, sem a necessidade de adição de alcalinizante.

O teor de ST foi diferente entre as amostras de água, apresentando-se mais elevado na amostra utilizada para série de ensaio 3. A fração dissolvida foi a mais frequente nas amostras analisadas, exceto para a amostra da série 2, quando houve certa equivalência na composição dos sólidos totais em relação ao tamanho das partículas, com discreto pendor para os sólidos em suspensão, que responderam por 52% do total.

Os SDT apresentaram concentração inferior ao limite de 500 mg/L previsto na Resolução CONAMA nº 357/05 para corpos d'água de classe 2, como é classificado o rio Meia Ponte. Em relação à volatilidade, as concentrações totais variaram entre as amostras analisadas. Nos sólidos suspensos predominou a fração fixa, que correspondente aos sólidos que não se volatilizam a temperatura de 550 °C, em sua maioria sólidos inorgânicos; e nos sólidos dissolvidos predominou a fração volátil.

As eficiências de remoção de turbidez e cor na água decantada produzida na ETA foram determinadas e encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9. Valores de turbidez e cor na água decantada produzida na ETA

Parâmetros		Série de ensaios		
		1	2	3
Eficiência de remoção (%)	Turbidez	98,6	99,1	97,5
	Cor aparente	98,2	96,1	99,2
Valor remanescente	Turbidez (UNT)	3,6	6,2	5,8
	Cor aparente (PtCo)	9,2	7,5	15

5.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DOS DECANTADORES DA ETA

A amostra preparada de resíduo dos decantadores da ETA aplicada no estudo preliminar foi caracterizada e o resultado encontra-se na Tabela 10.

Tabela 10. Caracterização da amostra do resíduo aplicada no estudo preliminar.

Parâmetros	Resultados
Sólidos Totais (mg/L)	1.665
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1.560
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	105

As amostras preparadas do resíduo dos decantadores da ETA para aplicação nos ensaios das séries 1, 2 e 3 foram caracterizadas e os resultados encontram-se nas Tabelas 11, 12 e 13, respectivamente.

Tabela 11. Caracterização das amostras do resíduo aplicadas na série de ensaios 1.

Parâmetros	Amostras de resíduos aplicadas na série 1		
Sólidos Totais (mg/L)	1.789	3.670	4.775
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1.635	3.443	4.306
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	154	227	469

Tabela 12. Caracterização das amostras do resíduo aplicadas na série de ensaios 2.

Parâmetros	Amostras de resíduos aplicadas na série 2					
Sólidos Totais (mg/L)	2.985	3.883	4.788	7.696	8.712	10.184
Sólidos Fixos Totais (mg/L)	2.350	3.075	3.856	6.178	7.023	8.188
Sólidos Voláteis Totais (mg/L)	635	808	932	1.518	1.688	1.996
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	2.615	3.642	4.664	7.500	8.573	9.670
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	2.128	2.915	3.786	6.130	6.980	7.783
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	488	727	879	1.370	1.593	1.887
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	370	241	123	196	138	514
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	222	160	71	48	43	404
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	147	82	53	148	95	110
Resistência específica ($\times 10^2$ m/kg)	9,3	8,1	4,5	9,4	6,3	3,6
Ensaio de centrifugação após 60 min:						
▪ Melhor dosagem de polieletrólito (g polieletrólito/ kg SST)	NP	4,0	NP	6,0	NP	NP
▪ Volume do centrifugado (mL)	NP	0,2	NP	0,3	NP	NP
▪ Turbidez no sobrenadante (UNT)	NP	0,8	NP	1,0	NP	NP
▪ SST _r no centrifugado ($\times 10^3$ mg/L)	NP	182	NP	250	NP	NP

NP - Não Pesquisado

Nas amostras preparadas de resíduo a fração suspensa foi a mais frequente, respondendo por mais de 90% do total. Em relação à volatilidade, a fração fixa foi a mais comum, contribuindo em média com 80% do total. Os valores encontrados condizem com os resultados encontrados por Cordeiro (1993) na ETA de São Paulo e Tavares et. al. (2009) nas ETAs da Região Metropolitana de Recife, apresentados no Quadro 1.

De forma geral, segundo a classificação de Grandin (1992), as amostras de resíduo não são consideradas de fácil desaguamento por meio de filtração, uma vez que os valores da resistência específica foram superiores a 1×10^{12} m/Kg, chegando a $9,4 \times 10^{12}$ m/Kg.

Tabela 13. Caracterização das amostras do resíduo aplicadas na série de ensaios 3.

Parâmetros	Amostras de resíduos aplicadas na série 3				
Sólidos Totais (mg/L)	2.879	5.541	8.755	13.414	14.679
Sólidos Fixos Totais (mg/L)	2.228	4.444	7.011	10.779	11.894
Sólidos Voláteis Totais (mg/L)	650	1.098	1.744	2.635	2.785
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	2.678	5.420	8.556	12.670	14.300
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	2.140	4.360	6.906	10.140	11.471
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	538	1.060	1.650	2.530	2.664
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	201	121	200	744	379
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	88	84	105	639	423
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	112	38	94	105	121
Resistência específica ($\times 10^2$ m/kg)	10,3	2,8	7,4	4,0	3,5
Ensaio de centrifugação após 60 min:					
▪ Melhor dosagem de polieletrólito (g polieletrólito/kg SST)	3,0	NP	4,0	NP	NP
▪ Volume do centrifugado (mL)	0,2	NP	0,3	NP	NP
▪ Turbidez no sobrenadante (UNT)	0,5	NP	0,6	NP	NP
▪ SST _r no centrifugado ($\times 10^3$ mg/L)	134	NP	285	NP	NP

NP - Não Pesquisado

As Tabelas A.1 e A.2, do Anexo A, apresentam o volume filtrado em função do tempo de filtração utilizado no cálculo da resistência específica para as amostras de resíduo, aplicadas nas séries 2 e 3, respectivamente. As Figuras A.1 a A.11 apresentam a relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica para as amostras de resíduo.

Quanto ao desaguamento por centrifugação, o ensaio permitiu verificar a importância do condicionamento químico na centrifugação das amostras de resíduo. As melhores condições, considerando simultaneamente a maior concentração de SST_r e a menor turbidez sobrenadante, foram obtidas com a aplicação do polieletrólito não iônico. Este produto não influenciou significativamente na concentração de SST_r, embora tenha sido importante na melhora da qualidade do sobrenadante.

As Tabelas A.3 a A.10, no Anexo A, apresentam o volume de centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando as amostras de resíduo aplicadas nos ensaios de Jar Test. Apresentam também o teor de SST_r e turbidez do sobrenadante em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio.

5.3 APLICAÇÃO DO RESÍDUO DOS DECANTADORES DA ETA NO TRATAMENTO DE ÁGUA

a) Estudo preliminar da dosagem de coagulante utilizada na ETA

A dosagem de coagulante empregada na ETA foi verificada por meio de ensaio de Jar Test. Os resultados encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14. Remoção de turbidez e cor do sobrenadante após ensaio de Jar Test, utilizando variações da dosagem de coagulante aplicada na ETA.

Coagulante		Remoção (%)	
% da dosagem da ETA	mg/L	Turbidez	Cor
50	15,5	98,0	92,7
60	18,6	98,1	93,9
70	21,7	98,1	93,2
80	24,8	98,6	95,0
90	27,9	97,4	92,5
100	31,0	97,2	91,9

Observa-se que utilizando 80% da dosagem de coagulante (24,8 mg/L), as remoções de turbidez (98,6%) e cor (95%) foram superiores às aquelas obtidas ao se utilizar 100% da dosagem, sugerindo no primeiro momento uma superdosagem de coagulante no tratamento de água. Entretanto, as diferenças na eficiência da remoção de cor e turbidez na água decantada da ETA e na água decantada do Jar Test, podem ser justificadas pela variação do escoamento da água no equipamento (batelada) e em escala real (fluxo contínuo), bem como pela variação da dosagem de coagulante aplicada nos sistemas. Segundo Vanacôr (2005), a variação da dosagem de coagulante encontrada no Jar Test para a escala real da ETA é, na prática, de aproximadamente 10%.

De acordo com Di Bernardo, Dantas e Voltan (2011), a variação na temperatura da água também influencia na eficiência do tratamento de água, pois altera a viscosidade e a constante da velocidade de reação das espécies de alumínio.

Com a aplicação do resíduo da ETA com SST igual a 1.560 mg/L, ao se reduzir a dosagem de coagulante partindo de 31 mg/L (dosagem da ETA) e de 24,8 mg/L (dosagem obtida nos ensaios) percebe-se que as melhores dosagens obtidas ficaram próximas (15,5 e 14,9 mg/L), como apresentado nas Tabelas 15 e 16.

Diante desses resultados, utilizou-se no decorrer da pesquisa a dosagem da ETA como ponto inicial para a variação da dosagem de coagulante.

Os valores da turbidez remanescente em cada ensaio encontram-se no Anexo B.

Tabela 15. Remoção de turbidez e cor do sobrenadante após a realização do estudo preliminar, partindo de 31 mg/L de coagulante e aplicando o resíduo com SST = 1.560 mg/L

Coagulante		Remoção (%)	
% da dosagem da ETA	mg/L	Turbidez	Cor
30	9,3	92,2	51,0
40	12,4	97,8	86,5
50	15,5	98,2	93,6
55	17,1	98,1	94,8
60	18,6	98,2	94,0
75	23,3	97,4	93,0
90	27,9	97,2	93,2

Tabela 16. Remoção de turbidez e cor do sobrenadante após a realização do estudo preliminar, partindo de 24,8 mg/L de coagulante e aplicando o resíduo com SST = 1.560mg/L

Coagulante		Remoção (%)	
% da dosagem	mg/L	Turbidez	Cor
40	9,9	92,2	-
50	12,4	97,9	87,5
55	13,6	98,4	93,3
60	14,9	98,9	94,9
75	18,6	98,1	93,1
90	22,3	98,2	94,3

5.3.1 Quantificação das melhores dosagens de coagulante e melhores concentrações do resíduo para as séries de ensaios

As eficiências de remoção de turbidez e cor do sobrenadante do ensaio de Jar Test onde empregou-se 100% da dosagem de coagulante usada na ETA e não aplicou o resíduo (branco) encontram-se na Tabela 17.

Tabela 17. Eficiência de remoção de turbidez e cor no sobrenadante após ensaios de Jar Test com 100% de coagulante e sem aplicação de resíduo

Eficiência de remoção (%)	Série de ensaios		
	1	2	3
Turbidez	72,3	89,1	95,7
Cor aparente	60,1	91,8	95,9

As eficiências obtidas na ETA e no Jar Test são próximas, indicando que o ensaio auxilia na determinação da dosagem adequada de coagulante, podendo ser utilizado nos estudos de coagulação, floculação e sedimentação, em escala laboratorial.

5.3.1.1 Avaliação da remoção de cor e turbidez do sobrenadante nas séries de ensaios

As Tabelas B.1 a B.3, no anexo B, apresentam os relatórios dos ensaios de Jar Test realizados na série 1. Nas Tabelas B.4 a B.9 estão apresentados os relatórios dos ensaios da série 2; e finalmente, nas Tabelas B.10 a B.14 os relatórios dos ensaios da série 3. Os valores da turbidez e cor aparente remanescente em cada ensaio encontram-se no Anexo B.

5.3.1.1.1 Série de ensaios 1 – Turbidez = 21 UNT

Na série 1, aplicando o resíduo com SST igual a 1.635 mg/L constatou-se que a utilização de 45 e 50% da dosagem de coagulante empregada na ETA permitiu uma remoção de turbidez superior àquela obtida no branco, como apresentado na Figura 15. Para o parâmetro cor, a eficiência de remoção segue o mesmo comportamento, exceto para as dosagens de 50 e 55%.

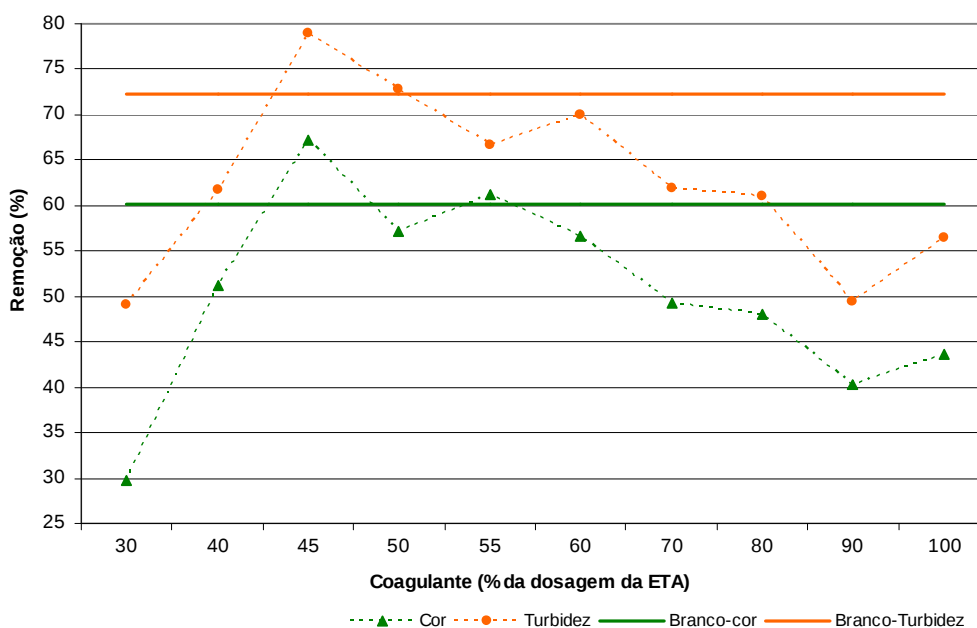


Figura 15. Remoção de cor e turbidez após aplicação de resíduo com SST = 1.635 mg/L, série de ensaio 1 – Turbidez = 21 UNT.

Obs.: “Branco-cor” e “Branco-turbidez” referem-se às eficiências de remoção de cor e de turbidez, respectivamente, quando não foi acrescentado resíduo ao ensaio, reproduzindo as condições normais da ETA.

Para o ensaio utilizando a amostra de resíduo com SST igual a 3.442 mg/L, obteve-se os resultados apresentados na Figura 16. Neste caso, a melhor situação foi aquela em que se empregou 50% da dosagem de coagulante, sendo a remoção de turbidez igual 72% e de cor igual a 62%.

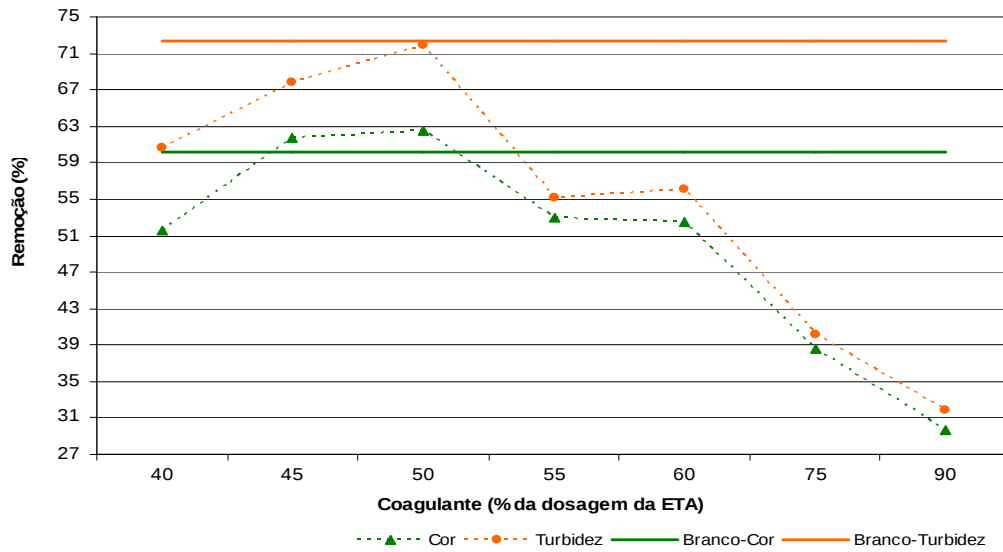


Figura 16. Remoção de cor e turbidez após aplicação de resíduo com SST = 3.442 mg/L, série de ensaio 1 – Turbidez = 21 UNT.

Obs.: “Branco-cor” e “Branco-turbidez” referem-se às eficiências de remoção de cor e de turbidez, respectivamente, quando não foi acrescentado resíduo ao ensaio, reproduzindo as condições normais da ETA.

Aplicando o resíduo com SST igual a 4.306 mg/L a remoção de cor e turbidez manteve-se inferior àquela obtida sem a aplicação, como na Figura 17. Nessa situação, pode ter ocorrido o excesso de hidróxido de alumínio no sistema, formando flocos menos densos devido a alta absorção de água, causando a desestabilização do tratamento.

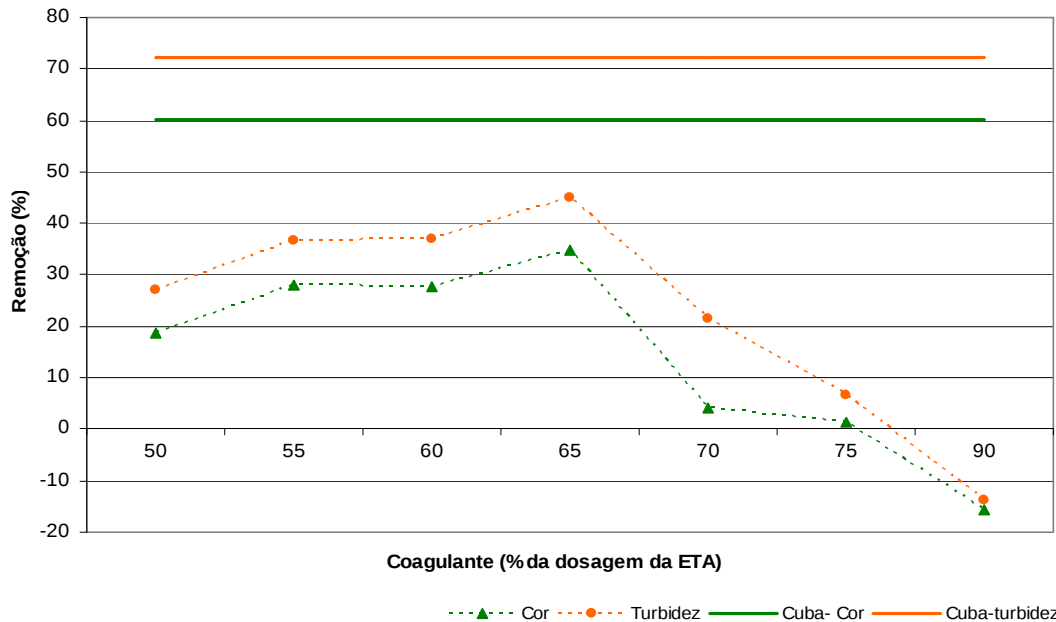


Figura 17. Remoção de cor e turbidez após aplicação de resíduo com SST = 4.306 mg/L, série de ensaio 1 – Turbidez = 21 UNT.

Obs.: “Branco-cor” e “Branco-turbidez” referem-se às eficiências de remoção de cor e de turbidez, respectivamente, quando não foi acrescentado resíduo ao ensaio, reproduzindo as condições normais da ETA.

Utilizando 90% de coagulante verifica-se que a qualidade da água decantada torna-se pior se comparada à água bruta ensaiada. Para essa concentração de SST e esse volume de resíduo aplicado (40 mL) não se indica a técnica em estudo visto a alta turbidez remanescente na água decantada, ou seja, menor eficiência de remoção, o que poderia causar redução do tempo da carreira de filtração da ETA, dentre outros problemas. A aplicação de menor volume de resíduo poderia viabilizar a utilização de técnica.

Portanto, aplicando-se 1.635 mg/L de resíduo da ETA como auxiliar de floculação, foi possível reduzir a dosagem de coagulante na água bruta em 55%; e aplicando-se 3.442 mg/L de resíduo a redução foi de 50%, mantendo a mesma eficiência no tratamento ou melhorando-a quanto a turbidez na água decantada. Com a aplicação de 4.306 mg/L de resíduo a eficiência do tratamento reduziu, não sendo interessante para a ETA.

5.3.1.1.2 Série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT

Na série de ensaios 2, utilizando-se a água bruta com turbidez média de 95 UNT e aplicado os resíduos com SST igual a 2.615, 3.642, 4.664 e 7.500 mg/L obteve-se resultados satisfatórios de remoção de turbidez, como apresentado na Figura 18.

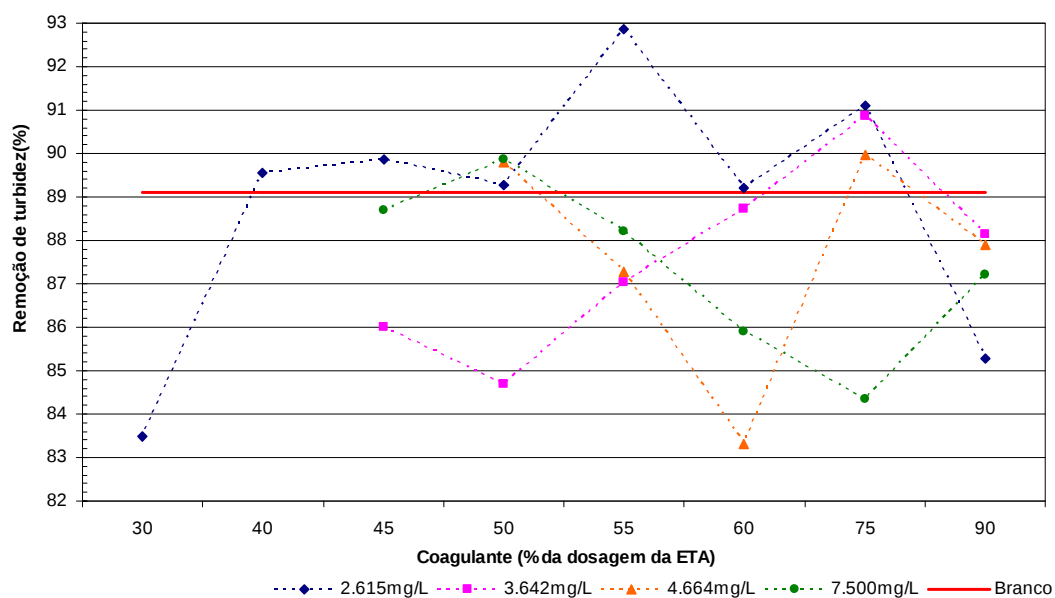


Figura 18. Remoção satisfatória de turbidez após aplicação das amostras de resíduo, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.

A aplicação do resíduo com 2.615 mg/L e utilização de 40 a 75% de coagulante permitiu uma remoção de turbidez superior àquela obtida no branco. Esse mesmo

comportamento foi verificado ao adicionar o resíduo com SST igual a 3.642 mg/L e dosagem de 75%.

Aplicando o resíduo com 4.664 mg/L e dosagem de coagulante igual 50 e 75%, a remoção de turbidez foi superior a obtida no branco. A aplicação do resíduo com SST igual a 7.500 mg/L e 50% de coagulante também proporcionou bons resultados, com eficiência de remoção de turbidez igual a 90%.

Assim, aplicando-se 2.615, 3.642, 4.664 e 7.500 mg/L de resíduo da ETA como auxiliar de floculação foi possível reduzir a dosagem de coagulante em 60%, 25%, 50% e 50%, respectivamente, melhorando a eficiência no tratamento quanto a turbidez na água decantada.

A Figura 19 ilustra os resultados obtidos com a aplicação do resíduo com 8.573 mg/L e 9.670 mg/L. Para essas concentrações não foram obtidos resultados satisfatórios.

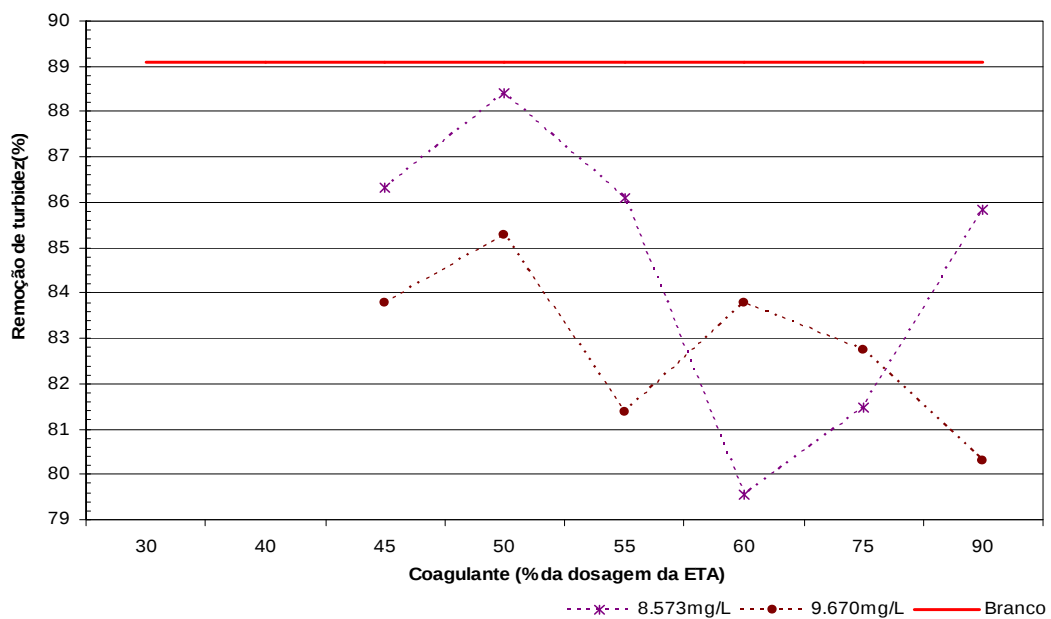


Figura 19. Remoção não satisfatória de turbidez após aplicação das amostras de resíduo, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.

Na análise de remoção de cor, a aplicação dos resíduos com SST igual a 2.615, 3.642 e 4.664 mg/L proporcionou os resultados apresentados na Figura 20.

Ao se aplicar as amostras de resíduo com 7.500, 8.573 e 9.670 mg/L, a eficiência de remoção de cor da água decantada não foi satisfatória

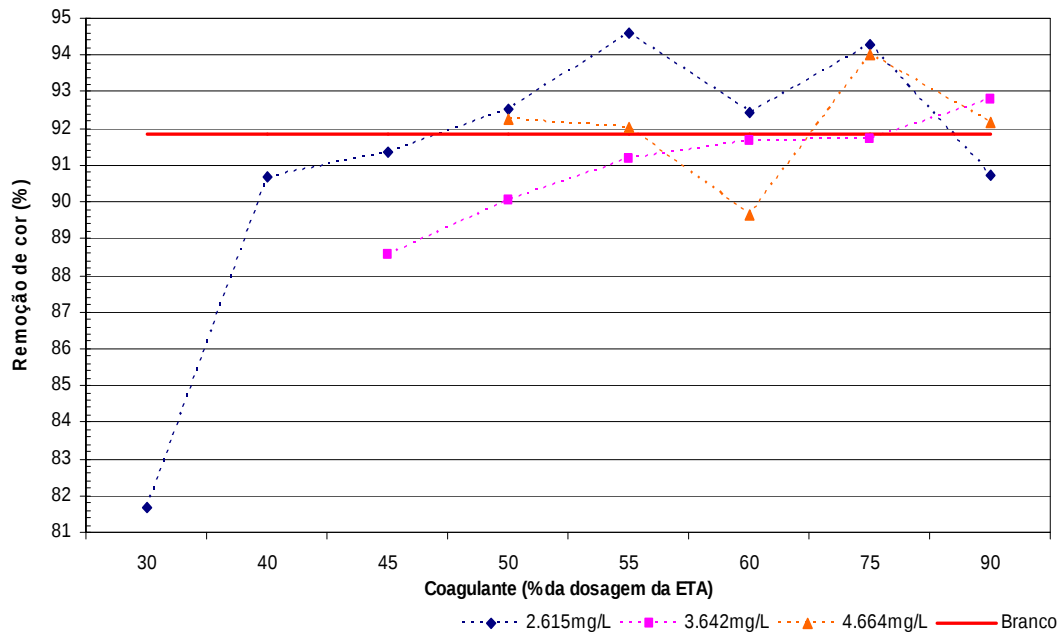


Figura 20. Remoção satisfatória de cor após aplicação das amostras de resíduo, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.

5.3.1.1.3 Série de ensaios 3 – Turbidez = 218 UNT

Na série de ensaios 3, utilizando a água bruta com turbidez média de 218 UNT e aplicando os resíduos com SST igual a 2.678, 5.420 e 8.556 mg/L foram obtidos resultados satisfatórios quanto a remoção de turbidez, como apresentado na Figura 21.

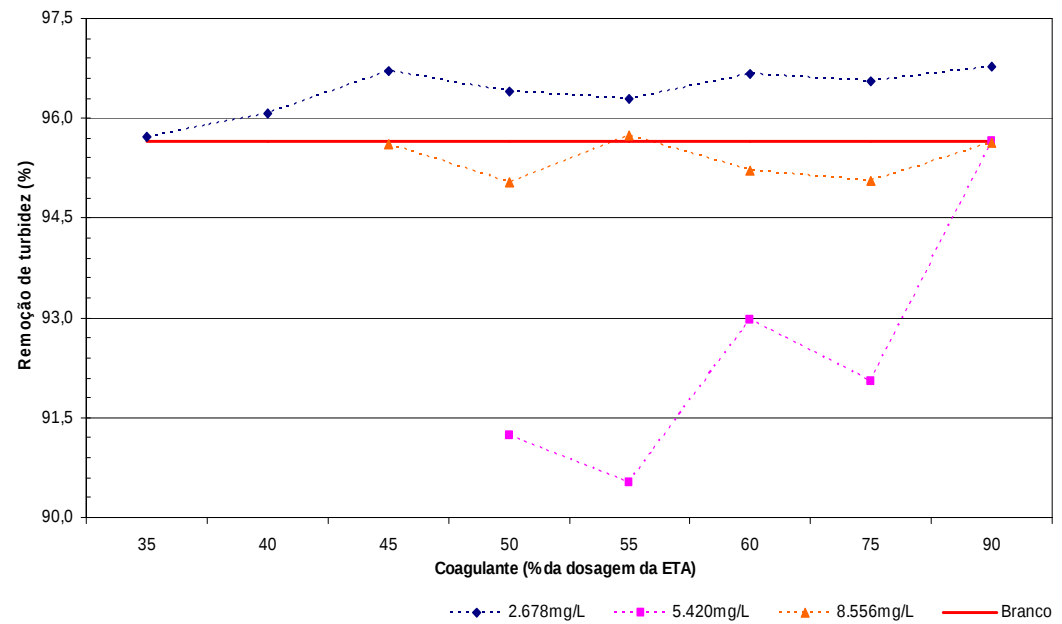


Figura 21. Remoção satisfatória de turbidez após aplicação das amostras de resíduo, série de ensaio 3 – Turbidez = 218 UNT

Na situação cujo resíduo aplicado era de 2.678 mg/L, a redução da dosagem de coagulante favoreceu a eficiência de remoção de turbidez. A redução da dosagem de coagulante chegou a 65%. Ao se aplicar o resíduo com 5.420 mg/L de SST a redução foi de 10%. Para o resíduo com SST igual a 8.556 mg/L, a dosagem de coagulante pode ser reduzida em 55%, garantindo a mesma eficiência de remoção de turbidez obtida no branco.

Com a aplicação do resíduo com concentrações iguais a 12.670 e 14.300 mg/L não foram obtidos resultados satisfatórios, como apresentado na Figura 22.

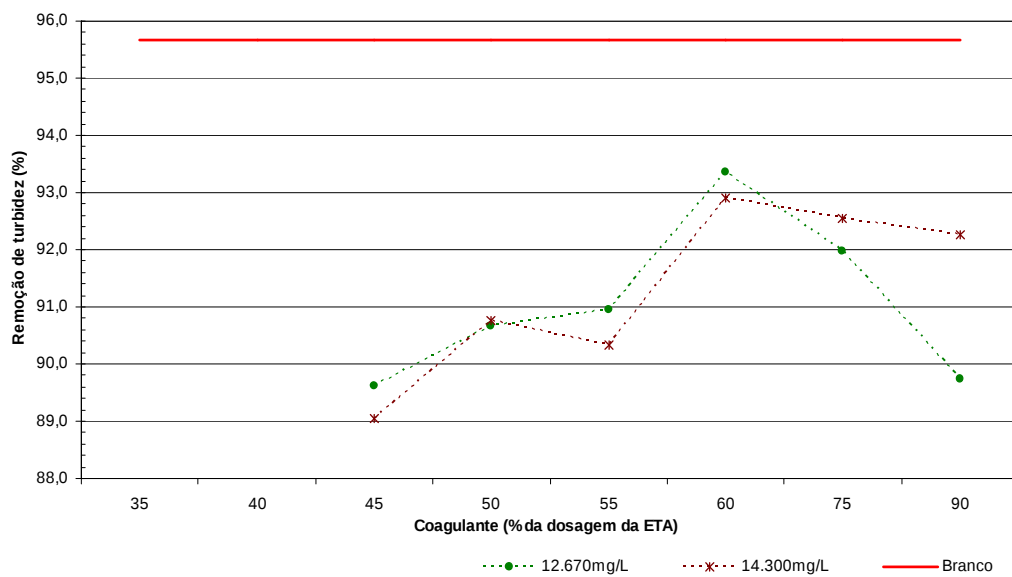


Figura 22. Remoção não satisfatória de turbidez após aplicação das amostras de resíduo, série de ensaio 3 – Turbidez = 218 UNT

A remoção da cor com a aplicação dos resíduos com 2.678 e 8.556 mg/L está ilustrada na Figura 23.

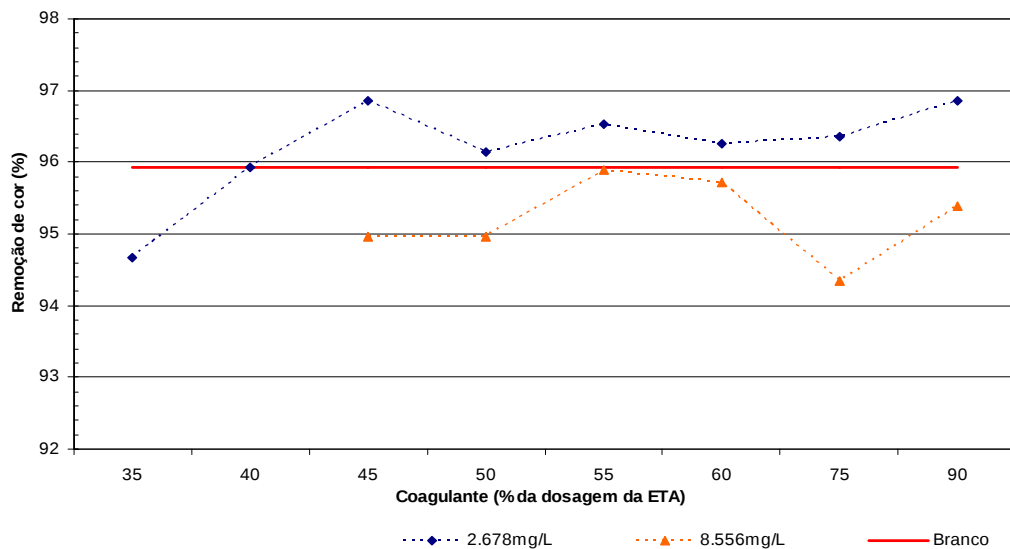


Figura 23. Remoção satisfatória de cor após aplicação das amostras de resíduo, série de ensaio 3 – Turbidez = 218 UNT.

5.3.1.1.4 Comparação das séries de ensaios

Comparando os resultados obtidos nas 3 séries de ensaios percebe-se que o aumento da turbidez da água bruta possibilitou a aplicação do resíduo mais concentrado em termos de SST, porém essa relação não se deu de forma linear. Isto é, utilizando-se a água bruta com turbidez na ordem de 210 UNT, a concentração de resíduo aplicado no tratamento pôde ser maior (8.556 mg/L), como ilustrado na Figura 24.

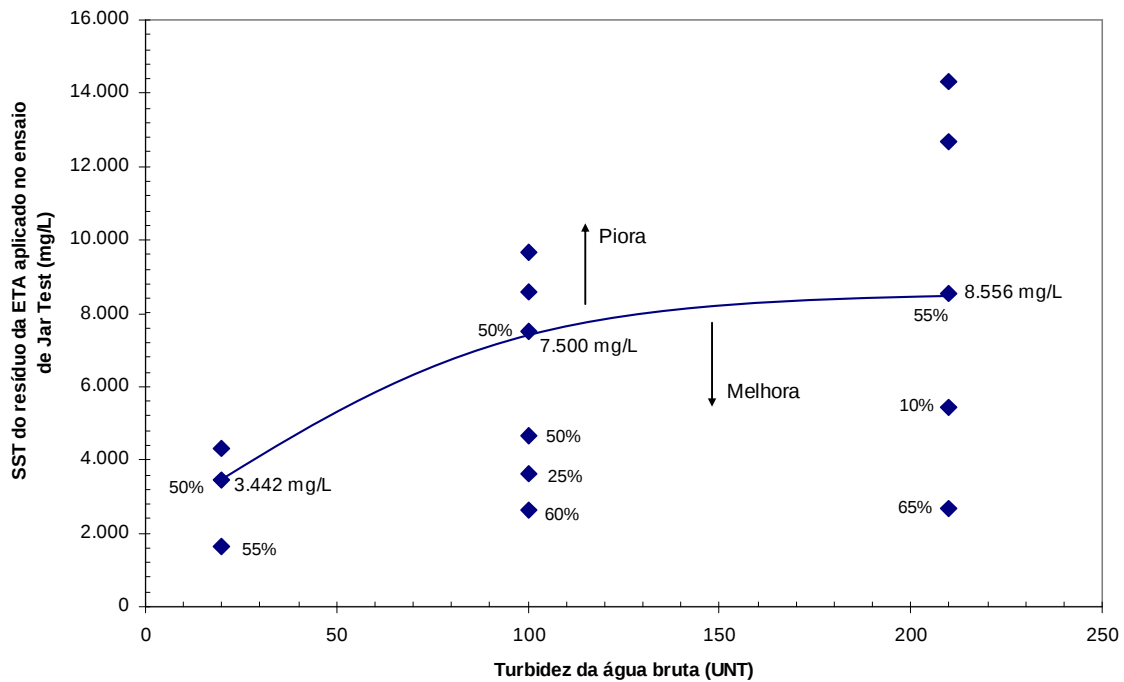


Figura 24. Desempenho limite para a aplicação do resíduo da ETA no tratamento de água, quanto à remoção de turbidez da água decantada.

Obs.: as porcentagens referem-se a redução da dosagem de coagulante aplicada no tratamento de água.

Nessa Figura são indicadas as reduções da dosagem de coagulante em cada situação estudada e duas regiões referentes a turbidez do sobrenadante. A região superior do diagrama (“piora”) aponta para as situações onde a eficiência de remoção de turbidez tornou-se inferior à situação sem aplicação do resíduo. Na região inferior (“melhora”) a remoção de turbidez foi superior, sendo favorável para a ETA.

Espera-se que para turbidez superior a 200 UNT a concentração máxima do resíduo aplicado seja igual, inferior ou ligeiramente maior a 8.556 mg/L, uma vez que linha está tendendo a estabilização.

O esquema geral dos resultados dos ensaios de Jar Test quanto à remoção de turbidez para as 3 (três) séries de ensaios estão ilustrados na Figura 25. As dosagens estudadas e indicadas como não satisfatórias possivelmente podem ser aplicadas no tratamento de água em quantidades inferiores a 2%, requerendo estudos para evidenciar isso.

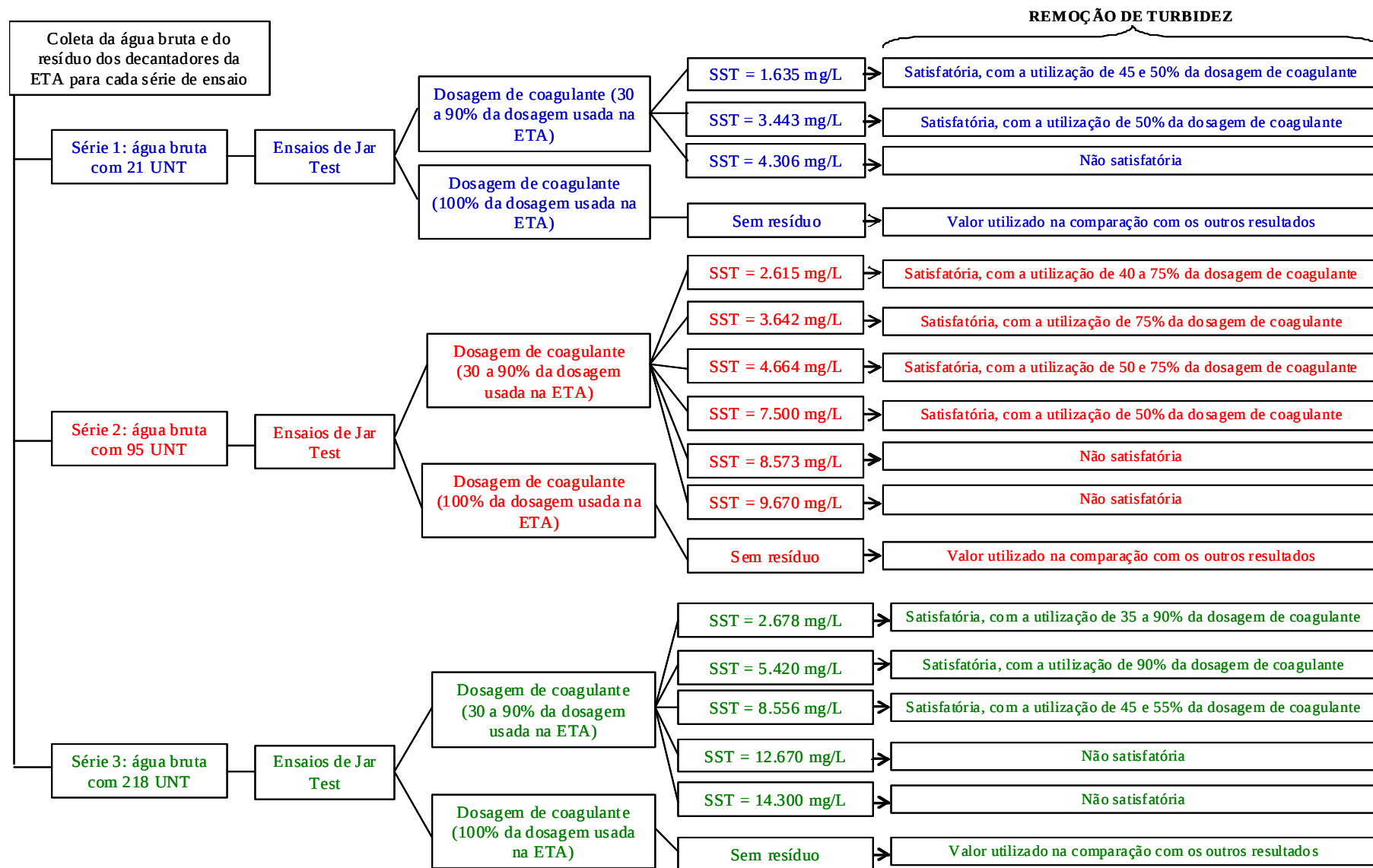


Figura 25. Esquema geral dos resultados dos ensaios de Jar Test quanto à remoção de turbidez

O comportamento descrito na Figura 24 pode ser confirmado também por meio da relação entre SST do resíduo aplicado nos ensaios e SST da água bruta. Para a água com 20UNT e aplicação do resíduo com 3.442 mg/L, o valor da relação foi igual a 234. Para a água com 100 UNT e aplicação do resíduo com 7.500 mg/L, o valor foi de 62. Utilizando a água com 210 UNT, e resíduo com 8.556 mg/L obteve-se 57. Percebe-se que os valores foram decrescentes a medida que a concentração aumentou.

De forma geral, para uma determinada água bruta, ao se aumentar a concentração de sólidos aplicados no tratamento menor a redução da dosagem de coagulante empregada nos ensaios. Em praticamente todas as situações, ocorreu uma redução de coagulante na faixa de 50% a 60%. Cordeiro (1981) em seus estudos apontou uma redução de 60% na dosagem de coagulante.

Na Figura 26 foram plotados os valores de turbidez nas amostras de sobrenadante em função dos seus respectivos valores de SST. Foram testadas outras funções para melhor ajustar a reta, embora a correlação linear foi a melhor entre estes dois parâmetros.

Segundo Di Bernardo (1993), na correlação entre esses parâmetros há uma dispersão dos dados, provavelmente por não serem iguais o número de partículas e a distribuição de tamanhos. Em amostras com turbidez próximas, o número de partículas e o seu tamanho podem variar consideravelmente, mesmo em amostra do mesmo manancial.

Scalize (1999) estudando a sedimentação da água de lavagem de filtro da ETA de São Carlos, que utiliza sulfato de alumínio, obteve a correlação de 0,9518 entre turbidez e SST nas amostras de sobrenadantes durante os ensaios em coluna sem e com a utilização dos polímeros, aproximando-se do valor encontrado nesse trabalho.

5.3.1.2 Análise do material sedimentado na cuba de Jar Test

As concentrações de materiais sedimentáveis nas cubas de Jar Test da série de ensaios 1 foram analisadas e o gráfico em função da dosagem de sulfato de alumínio encontra-se na Figura 27.

Para a situação onde foi aplicado o resíduo com SST igual a 1.635 mg/L e dosagens de coagulante de até 70%, o volume de materiais sedimentáveis na cuba de Jar Test foi inferior se comparado ao branco, porém mais concentrado. Este comportamento é bastante favorável em uma ETA, visto que o resíduo sedimentado, mais concentrado, ocuparia menor volume no decantador.

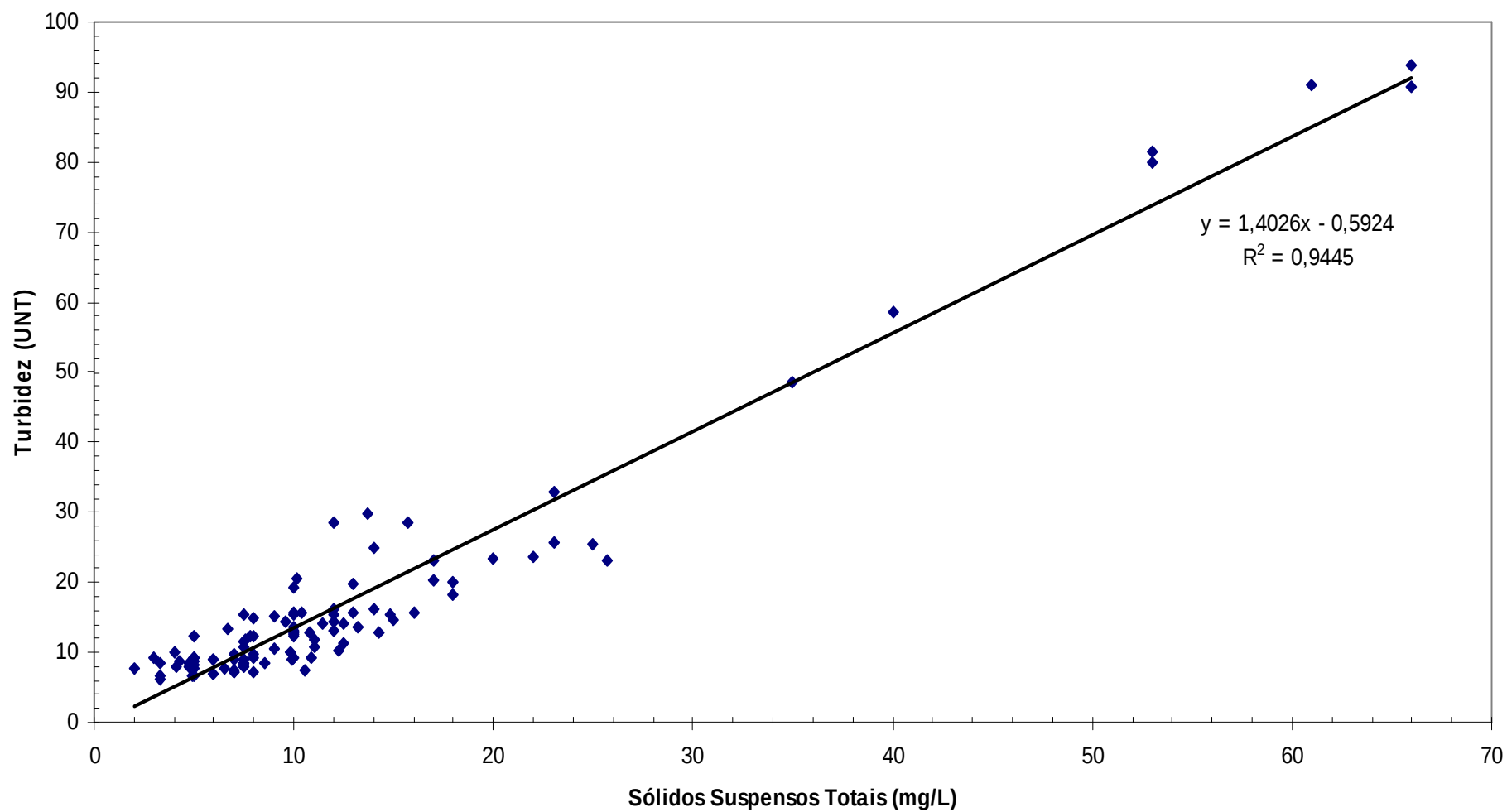


Figura 26. Relação entre turbidez e SST nas amostras de sobrenadantes após a realização dos ensaios de Jar Test, com e sem aplicação do resíduo dos decantadores da ETA.

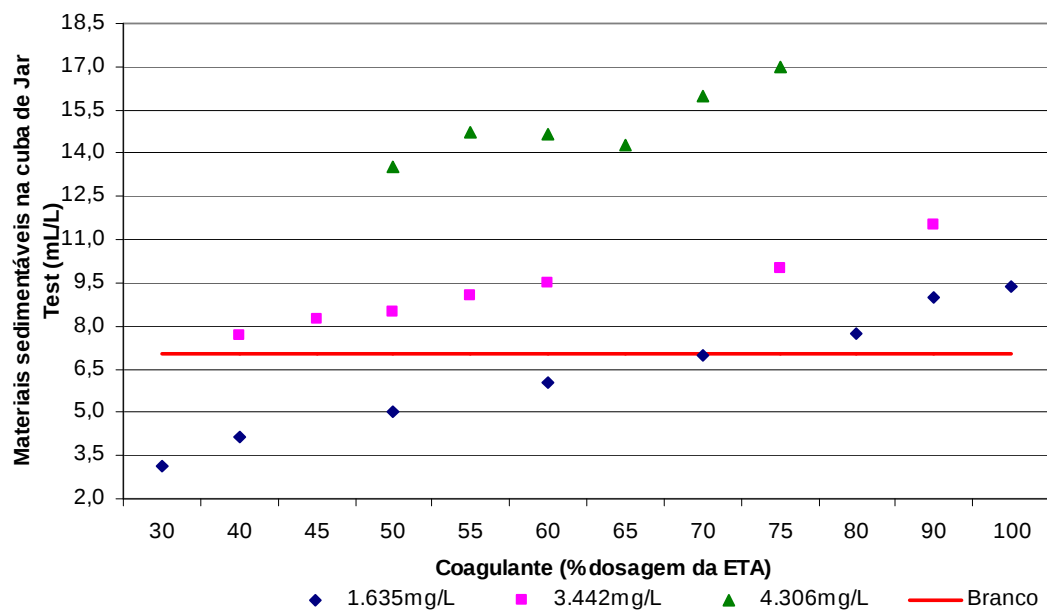


Figura 27. Concentração de materiais sedimentáveis na cuba de Jar Test, na série de ensaios 1 – Turbidez = 21 UNT.

Na aplicação do resíduo com 1.635 mg/L e emprego de coagulante acima de 70%, e do resíduo a partir de 3.442 mg/L, independente da dosagem de coagulante, o volume foi maior que o branco, em função da quantidade de resíduo aplicado, entretanto com a concentração de materiais sedimentáveis maior. Neste caso, a técnica em estudo alteraria o funcionamento do decantador da ETA, tendo vista o maior volume ocupado pelo material sedimentado.

Para a aplicação do resíduo com 3.442 mg/L e 40% de coagulante, verifica-se que o volume de material sedimentado é bem próximo ao branco, indicando que provavelmente com uma concentração entre 2.500 a 3.000 mg/L o volume ficaria menor que o obtido no branco, entretanto mais concentrado.

Na série de ensaios 2, a aplicação do resíduo de ETA favoreceu a redução do volume de materiais sedimentáveis na cuba de Jar Test se comparado ao branco, exceto quando se aplicou o resíduo com SST igual a 3.642, 8.573 e 9.670 mg/L utilizando 90% da dosagem de coagulante, como ilustrado nas Figuras 28 e 29. Nessas situações, a concentração de materiais sedimentáveis na cuba do Jar Test foi superior à do branco, sendo bastante favorável para a ETA.

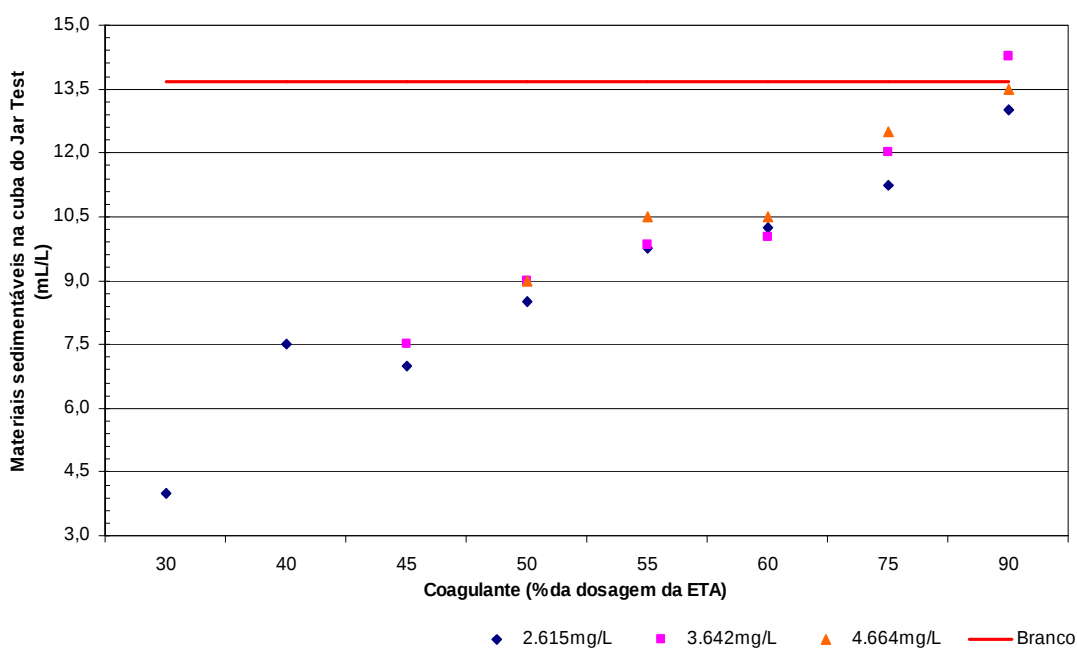


Figura 28. Concentração de materiais sedimentáveis na cuba de Jar Test, que recebeu resíduo com SST igual a 2.615, 3.642 e 4.664 mg/L, na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.

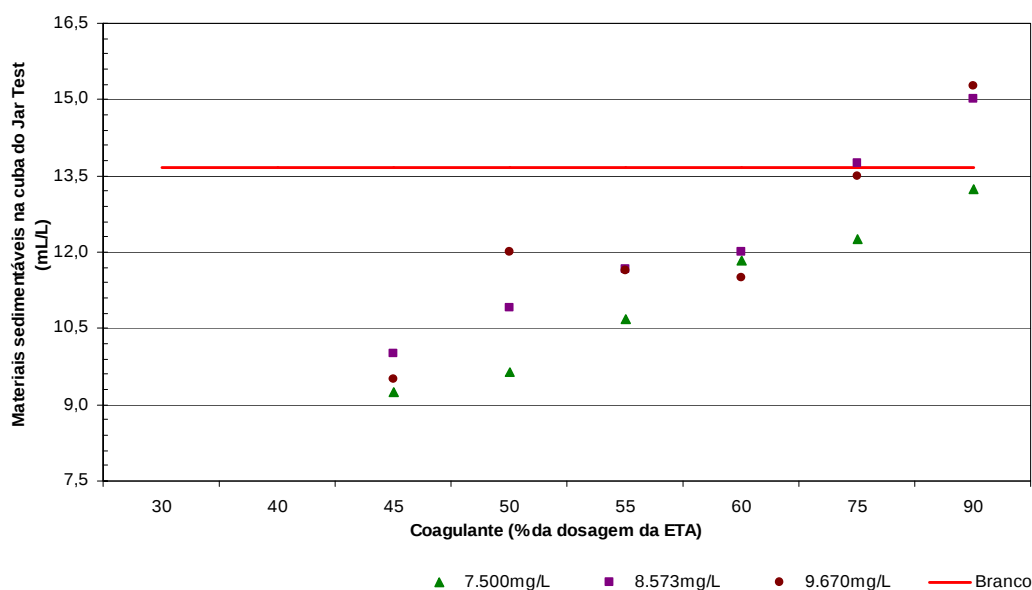


Figura 29. Concentração de materiais sedimentáveis na cuba de Jar Test, que recebeu resíduo com SST igual a 7.500, 8.573 e 9.670 mg/L, na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT

Na série 3, o volume ocupado pelos materiais sedimentáveis também variaram com a dosagem de coagulante e a concentração dos resíduos aplicados, como ilustrado na Figura 30.

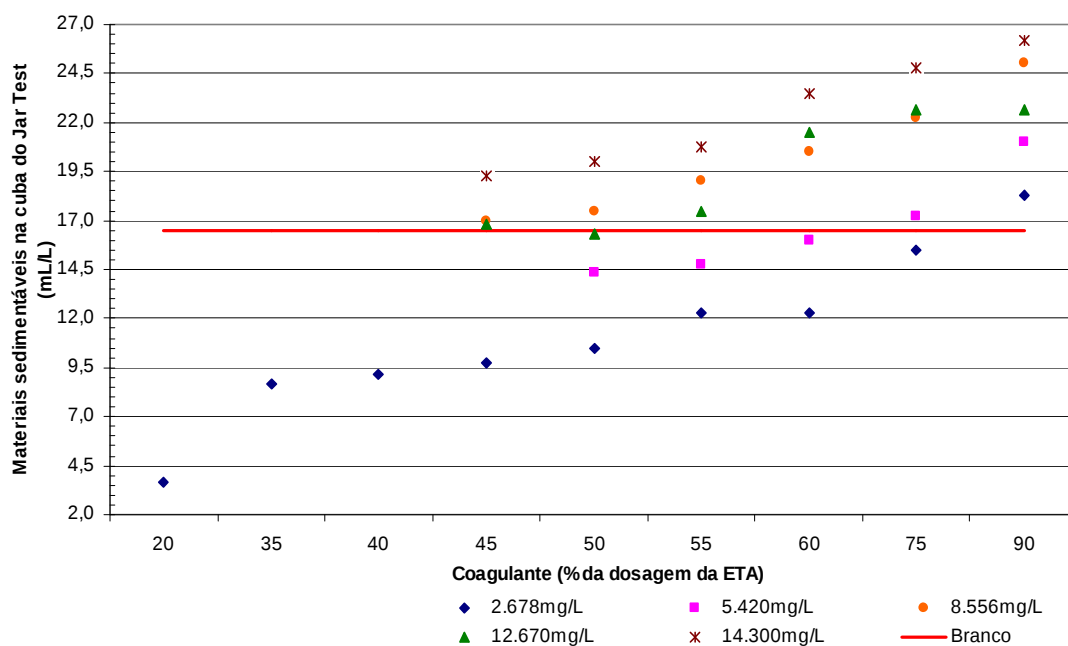


Figura 30. Concentração de materiais sedimentáveis na cuba de Jar Test que recebeu resíduo da ETA, na série de ensaios 3 – Turbidez = 218 UNT.

Para as situações onde foram aplicados os resíduos com SST igual a 2.678 mg/L (dosagens de coagulante até 75%), 5.420 mg/L (dosagens até 60%), 8.556 mg/L (dosagem de 45%) e 12.670 mg/L (dosagem até 50%), o volume de materiais sedimentáveis na cuba de Jar Test foi inferior se comparado ao branco, com maior concentração de sólidos. Este resultado é bastante favorável em uma ETA, visto que o resíduo sedimentado mais concentrado ocupa menor volume no decantador.

Nas demais situações, o volume de materiais sedimentáveis foi maior que o branco, porém com a concentração de sólidos também maior. Nesses casos, o funcionamento do decantador da ETA sofreria alteração.

Comparando os resultados obtidos nas 3 (três) séries de ensaios percebe-se que a redução da dosagem de coagulante favorece a redução do volume ocupado pelos materiais sedimentáveis, independente da concentração de resíduo aplicado no tratamento de água. Verifica-se também que o aumento da turbidez da água bruta possibilitou a aplicação do resíduo mais concentrado em termos de SST, obtendo resultados mais satisfatórios em termos de volume de materiais sedimentáveis na cuba do Jar Test, como ilustrado na Figura 31.

Desta forma, na série 01 é satisfatória a aplicação do resíduo com SST próximo a 3.000 mg/L; na série 02 é satisfatória a aplicação do resíduo com SST maior que 9.670 mg/L e dosagens de coagulante abaixo de 75%; e na série 3 a aplicação de até 12.670 mg/L e dosagens de até 50% de coagulante. Nas situações em que o volume de materiais

sedimentáveis aumentou provavelmente ocorreu o excesso de sulfato de alumínio e espécies hidrolisadas no resíduo sedimentado, tornando os flocos menos densos.

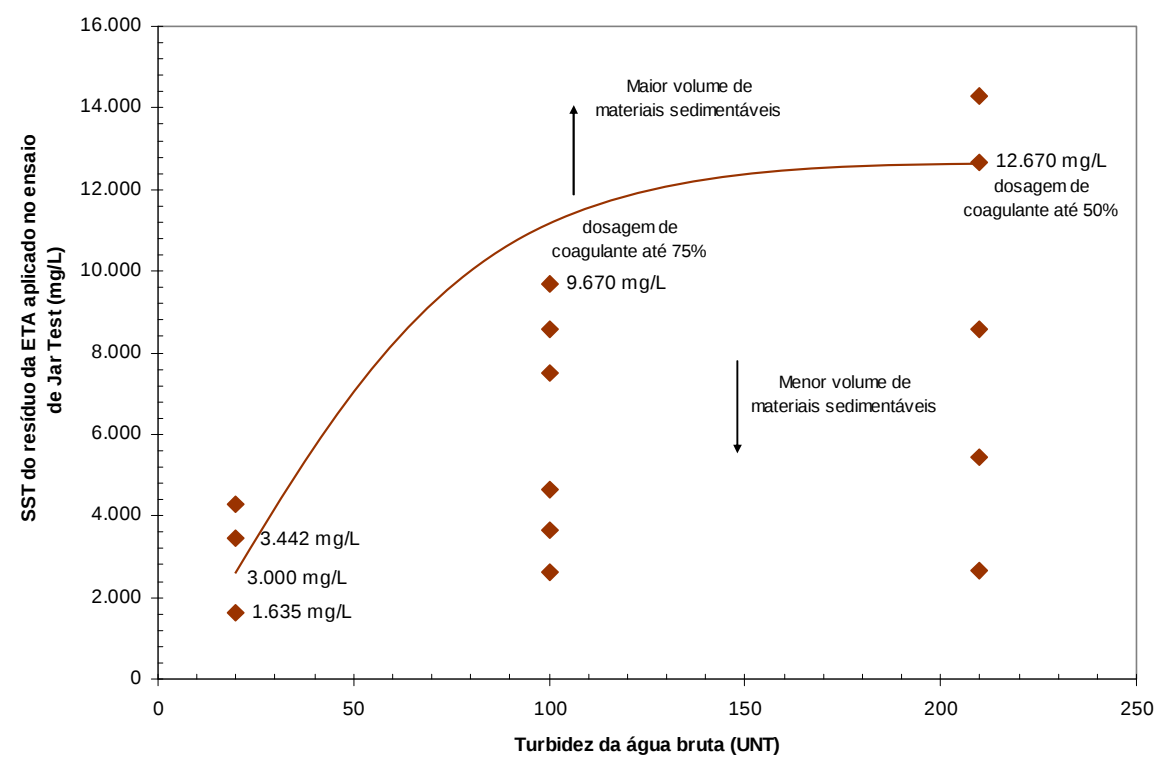


Figura 31. Desempenho limite para a aplicação do resíduo da ETA no tratamento de água, quanto ao volume de materiais sedimentáveis.

5.4 APLICAÇÃO DO RESÍDUO DOS DECANTADORES DA ETA NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA OS MELHORS RESULTADOS

5.4.1 Determinação dos melhores resultados

Os melhores resultados obtidos com o emprego da técnica descrita neste estudo estão apresentados na Tabela 18. Nesses resultados, houve concomitantemente, a remoção de turbidez do sobrenadante igual ou superior à remoção no branco; a aplicação de menor dosagem de coagulante; e a aplicação do resíduo com maior concentração de SST.

Tabela 18. Melhores resultados trabalhados

	Séries de ensaios		
	1	2	3
Dosagem de coagulante (% da dosagem da ETA)	50	50	45 e 55
Resíduo aplicado no ensaio de Jar Test (mg/L de SST)	3.443	7.500	8.556

Tendo em vista a operação da ETA, os melhores resultados foram aqueles em que se aplicou o resíduo com concentração de SST próxima a 3.000 mg/L. Com isso, foi possível a remoção satisfatória de turbidez do sobrenadante e a redução da dosagem de coagulante em todas as séries estudadas. A Tabela 19 apresenta os melhores resultados considerando a operacionalidade da ETA.

Tabela 19. Melhores resultados para a operação da ETA

	Séries de ensaios		
	1	2	3
Dosagem de coagulante (% da dosagem da ETA)	50	75	35 e 40
Resíduo aplicado no ensaio de Jar Test (mg/L de SST)	3.443	3.642	2.678

5.4.2 Análise do sobrenadante nos melhores resultados

As amostras de sobrenadante após a realização dos ensaios de Jar Test para os melhores resultados obtidos nas séries de ensaios 2 e 3 foram caracterizadas e os resultados encontram-se na Tabela 20. Esses resultados referem-se aos valores médios obtidos nas réplicas dos ensaios.

Tabela 20. Caracterização das amostras de sobrenadante nos melhores resultados das séries 2 e 3.

Série 2 – Turbidez = 95 UNT				Série 3 – Turbidez = 218 UNT				
SST do resíduo aplicado (mg/L)	-	3.645	7.500	-	2.678	2.678	8.556	8.556
Coagulante (% da dosagem da ETA)	100	75	50	100	35	40	45	55
Parâmetros	Resultados							
Remoção de turbidez (%)	92,3	92,0	90,8	98,8	98,0	98,4	98,5	97,8
Remoção de cor (%)	94,0	90,0	92,2	96,4	90,0	93,3	93,7	89,7
ST (mg/L)	154	153	157	163	148	148	127	126
SFT (mg/L)	NP	NP	NP	78	71	62	83	88
SVT (mg/L)	NP	NP	NP	85	77	86	44	38
SST (mg/L)	10	10	10	9	11	14	16	14
SSF (mg/L)	7	7	5	6	7	8	9	6
SSV (mg/L)	3	3	5	3	4	6	7	8
SDT (mg/L)	144	143	147	154	137	133	111	112
SDF (mg/L)	NP	NP	NP	72	64	53	74	82
SDV (mg/L)	NP	NP	NP	82	73	80	37	30
Remoção de coliformes totais (%)	95,2	99,3	95,6	90,6	90,1	87,1	74,4	61,9
Remoção de <i>E. coli</i> (%)	100	100	87,0	95,0	83,5	94,8	93,2	89,8

NP: Não Pesquisado

As concentrações de ST presentes nos sobrenadantes não se diferiram significativamente entre as amostras sem e com a aplicação do resíduo. Percebe-se na maioria das amostras, uma ligeira redução na concentração desse parâmetro quando houve aplicação do resíduo. Ao contrário do verificado nas amostras de resíduos, a fração dissolvida nos sobrenadantes foi mais frequente.

A remoção de coliformes totais apresentou pequena variação entre as amostras sem e com a aplicação do resíduo. Nas amostras da série 3 com a aplicação do resíduo com SST igual a 8.556 mg/L, a remoção de coliformes foi inferior. A variação na remoção de *E. coli* não foi significativa entre as amostras. Cordeiro (1981), após a aplicação do resíduo de ETA no tratamento da água, constatou a normalidade dos exames bacteriológicos do sobrenadante em relação a coliformes.

Na série 2 foi obtido 100% de remoção de *E. coli* nas situações onde não foi aplicado o resíduo e onde houve a aplicação do resíduo com SST igual a 3.645 mg/L.

5.4.3 Análise do material sedimentado nos melhores resultados

As amostras do material sedimentado gerado após a realização das réplicas dos ensaios de Jar Test na série 2, considerando os melhores resultados, foram caracterizadas quanto ao teor de sólidos e os resultados encontram-se na Tabela 21.

Tabela 21. Caracterização do material sedimentado nos melhores resultados da série 2.

Série 2 – Turbidez = 95 UNT			
SST do resíduo aplicado (mg/L)	-	3.645	7.500
Coagulante (% da dosagem da ETA)	100	75	50
Parâmetros	Resultados		
Sólidos Totais (mg/L)	7.160	10.472	13.568
Sólidos Fixos Totais (mg/L)	5.604	7.556	10.720
Sólidos Voláteis Totais (mg/L)	1.556	2.916	2.848
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	6.329	9.657	11.743
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	5.143	7.243	10.557
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1.186	2.414	1.186
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	831	815	1.825
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	461	313	163
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	370	502	1.662

Na série 3, as amostras do material sedimentado também foram caracterizadas quanto aos teores de sólidos. A Tabela 22 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 22. Caracterização do material sedimentado nos melhores resultados da série 3.

Série 3 – Turbidez = 218 UNT					
SST do resíduo aplicado (mg/L)	-	2.678	2.678	8.556	8.556
Coagulante (% da dosagem da ETA)	100	35	40	45	55
Parâmetros	Resultados				
Sólidos Totais (mg/L)	9.993	12.750	12.867	19.953	17.320
Sólidos Fixos Totais (mg/L)	8.177	10.343	10.473	16.493	14.080
Sólidos Voláteis Totais (mg/L)	1.817	2.407	2.393	3.460	3.240
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	9.460	12.540	12.540	18.970	16.630
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	7.680	10.310	10.290	15.660	13.560
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1.780	2.230	2.250	3.310	3.070
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	533	210	327	983	690
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	497	33	183	833	520
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	37	177	143	150	170

A comparação das séries de ensaios permite verificar que a turbidez da água bruta influencia as características do material sedimentado. Na série 3, cuja turbidez da água bruta é mais elevada, na situação onde não foi aplicado o resíduo de ETA, as concentrações de sólidos foram superiores às aquelas encontradas na série 2.

A aplicação de resíduos mais concentrados proporcionou maiores concentrações de ST e SST no material sedimentado. Mesmo reduzindo a dosagem de coagulante, o material sedimentado apresentou maior concentração de sólidos, se comparado à situação sem aplicação do resíduo. Esse resultado já era esperado uma vez que o resíduo representa uma carga adicional de sólidos ao tratamento de água.

5.4.3.1 Sedimentabilidade do material sedimentado nas cubas do Jar Test

Nos melhores resultados da série 2, o material sedimentado gerado na situações onde houve aplicação do resíduo ocupou menor volume no cone com o passar do tempo se comparado ao branco, indicando o aumento da sua sedimentabilidade e maior adensamento por gravidade, como ilustrado na Figura 32.

Quando comparadas as situações em que foram aplicados os resíduos com SST igual a 3.645 e 7.500 mg/L, não se observam diferenças significativas na sedimentabilidade do material sedimentado e no SST do sobrenadante na cuba do Jar Test, como apresentado na Tabela 23.

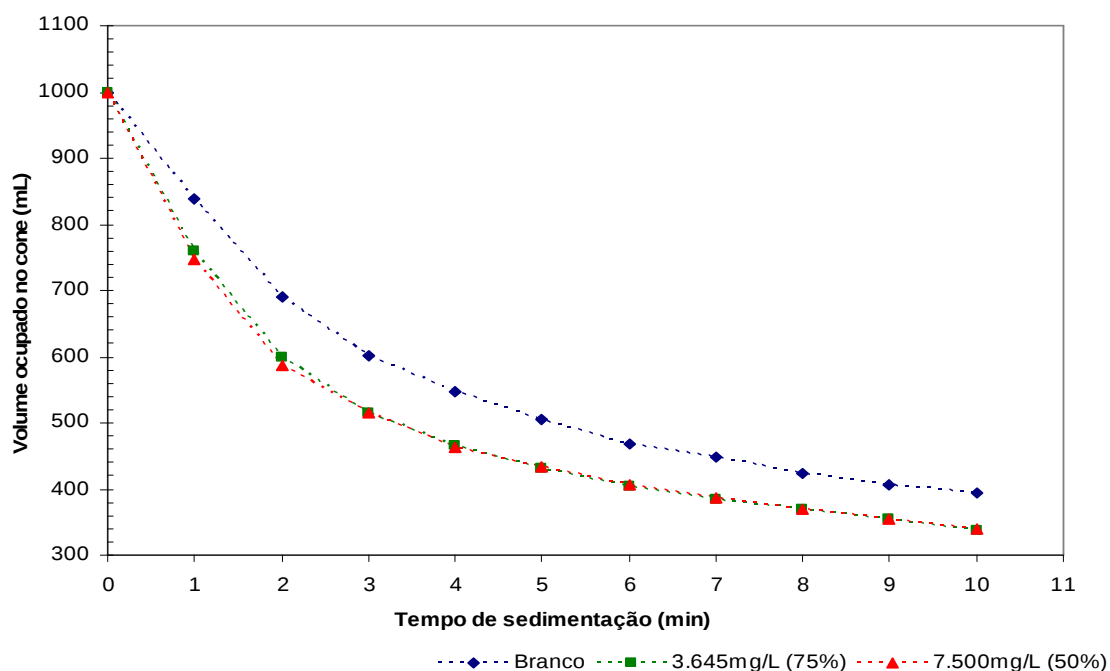


Figura 32. Curvas de sedimentabilidade do material sedimentado nos melhores resultados da série 2.

Obs.: as porcentagens dentro dos parênteses correspondem as dosagens de coagulante (% da dosagem de coagulante da ETA) utilizadas nos ensaios.

Tabela 23. Concentração de materiais sedimentáveis nos melhores resultados da série 2.

SST do resíduo aplicado (mg/L) Coagulante (% da dosagem da ETA)	Série 2 – Turbidez = 95 UNT		
	-	3.645	7.500
	100	75	50
Parâmetros	Resultados		
SST do sobrenadante na cuba do Jar Test (mg/L)	10,0	10,0	10,0
Materiais sedimentáveis em cone Imhoff após 10 min (mL/L)	14,3	11,5	10,4

De forma geral, após 10 minutos de sedimentação a redução total do volume ocupado no cone foi de 60%. Após os primeiros 5 minutos essa redução foi próxima a 57%, indicando que este período foi mais significativo para o adensamento do material sedimentado, se comparado aos 5 minutos restantes. Esse resultado é um indicativo que a disposição do material sedimentado em tanque de lodo é bastante favorável, já que as dimensões do tanque podem ser reduzidas. Antes de fazer aplicação em escala real, novos estudos devem ser efetuados em escala piloto.

Na série 3, com a aplicação do resíduo com SST igual a 2.678 mg/L a sedimentabilidade do material tornou-se maior se comparada ao branco, como ilustrado na Figura 33.

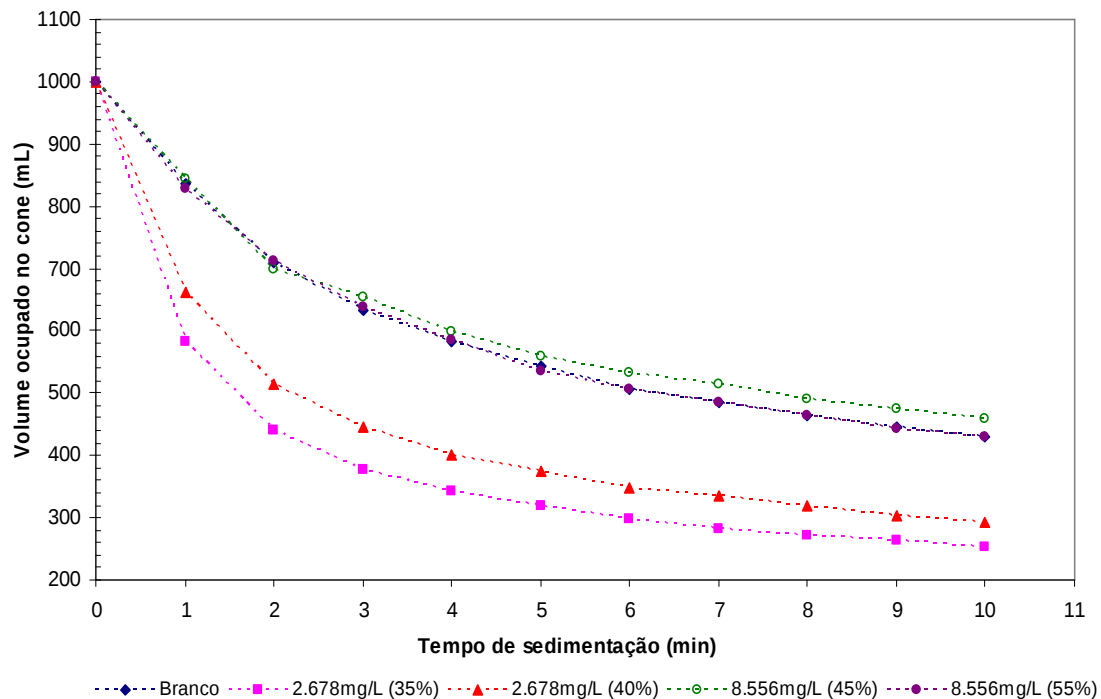


Figura 33. Curva de sedimentabilidade do material sedimentado nos melhores resultados da série 3.

Obs.: as porcentagens dentro dos parênteses correspondem as dosagens de coagulante (% da dosagem de coagulante da ETA) utilizadas nos ensaios.

A aplicação do resíduo com 8.556 mg/L também favoreceu a sedimentabilidade do material, visto que a concentração de sólidos foi maior que no branco e o volume igual ou ligeiramente maior (para a dosagem de 45%).

De maneira geral, após 10 minutos de sedimentação no cone, a redução total do volume ocupado pelos materiais sedimentáveis foi de 72%, com a aplicação do resíduo com 2.678 mg/L, e 56% com a aplicação do resíduo com 8.556 mg/L. Verifica-se que nos primeiros 5 minutos a redução foi próxima a 65 e 45% respectivamente, sendo este período de tempo o mais significativo para o adensamento do material sedimentado.

A aplicação do resíduo nessa série de ensaios ocasionou alterações na concentração de SST no sobrenadante, como apresentado na Tabela 24. Na situação que foi aplicado o resíduo com SST igual a 2.678 mg/L e 35% da dosagem de coagulante da ETA, a variação não foi significativa.

Os resultados ainda permitiram constatar que a sedimentabilidade do material varia principalmente em virtude da concentração do resíduo aplicado e da dosagem de coagulante empregada no tratamento, como ilustrado na Figura 34. De forma geral, a aplicação do resíduo mais concentrado aumenta o volume ocupado pelo material sedimentado, visto a maior quantidade de sólidos incorporados no tratamento. Entretanto,

com discutido neste item, a aplicação do resíduo da ETA favoreceu o adensamento do material sedimentado quando comparado à situação sem aplicação do resíduo.

Tabela 24. Concentração de materiais sedimentáveis nos melhores resultados da série 3.

SST do resíduo aplicado (mg/L) Coagulante (% da dosagem da ETA)	Série 3 – Turbidez = 218 UNT				
	-	2.678	2.678	8.556	8.556
	100	35	40	45	55
Parâmetros		Resultados			
SST do sobrenadante na cuba de Jar Test (mg/L)	9,0	11,0	14,0	16,0	14,0
Materiais sedimentáveis em cone Imhoff após 10 min (mL/L)	15,3	8,1	8,9	13,6	14,1

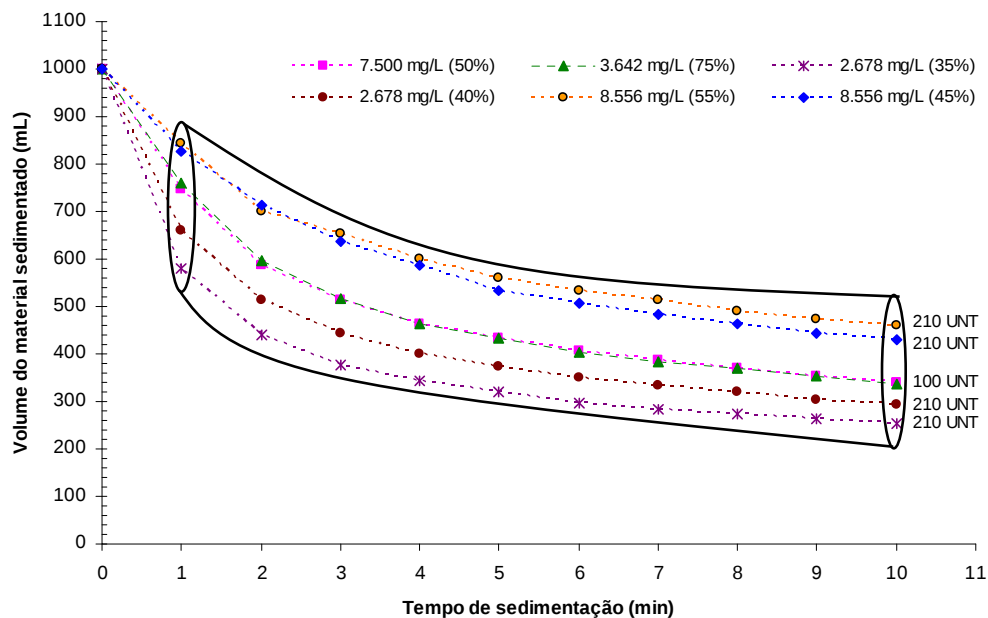


Figura 34. Curvas de sedimentabilidade do material sedimentado com aplicação do resíduo da ETA.

Obs.: as porcentagens referem-se a dosagem de coagulante aplicada no tratamento de água.

Deste modo, para água com turbidez de 100 UNT a aplicação do resíduo com SST superior a 7.500 mg/L favoreceu a sedimentabilidade do material sedimentado. Para água com turbidez de 210 UNT, a aplicação do resíduo maior que 8.600 mg/L poderia prejudicar a sedimentabilidade, dependendo da dosagem de coagulante aplicada.

5.4.3.2 Resistência específica do material sedimentado

O estudo de resistência específica foi realizado com o material sedimentado após realização dos ensaios de Jar Test considerando os melhores resultados das séries 2 e 3. As

curvas dos volumes filtrados em função do tempo de filtração para as diferentes concentrações de resíduos aplicados nos ensaios estão apresentadas nas Figuras 35 e 36.

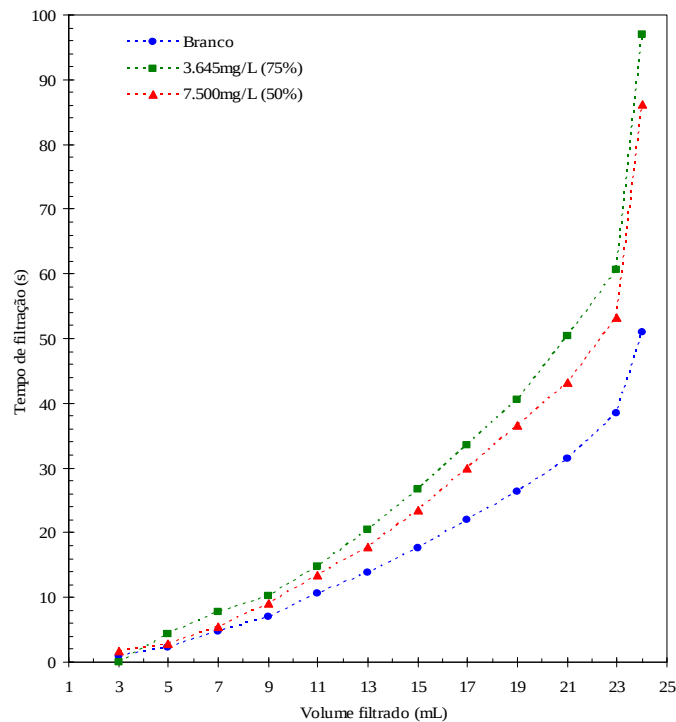


Figura 35. Volume filtrado em função do tempo de filtração do material sedimentado para as várias concentrações de resíduos aplicados nos ensaios da série 2.

Obs.: as porcentagens dentro dos parênteses correspondem as dosagens de coagulante utilizadas nos ensaios de Jar Test.

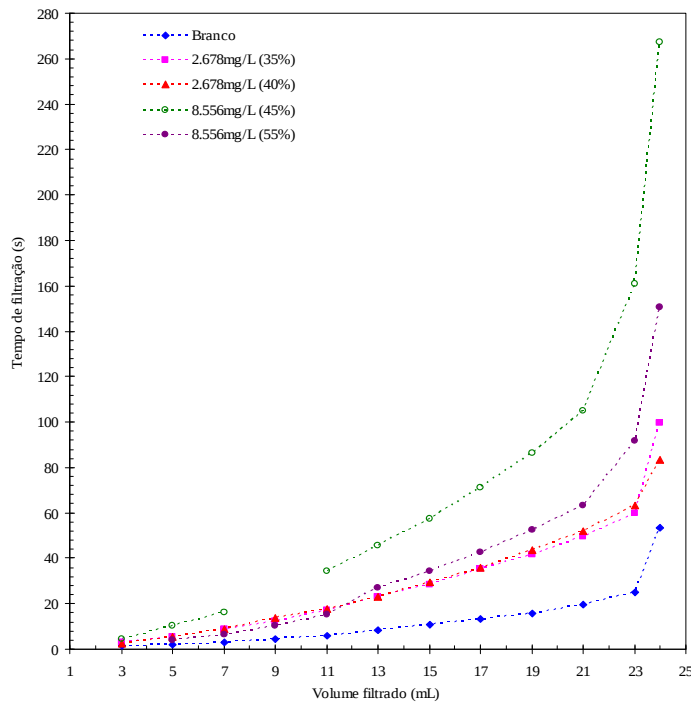


Figura 36. Volume filtrado em função do tempo de filtração do material sedimentado para as várias concentrações de resíduos aplicados nos ensaios da série 3.

Obs.: as porcentagens dentro dos parênteses correspondem as dosagens de coagulante (% da dosagem de coagulante da ETA) utilizadas nos ensaios.

Ao adicionar o resíduo de ETA, o tempo de filtração do material sedimentado tornou-se maior se comparado à situação sem aplicação do resíduo, o que era esperado devido o aumento na quantidade de sólidos. Na série 3, ao se aplicar o resíduo mais concentrado o tempo de filtração também foi maior.

Na série 3, a resistência específica dos materiais sedimentados foi cerca de 66 a 130% maior que a resistência do material que não recebeu resíduo da ETA, como apresentado na Tabela 25. Provavelmente, isto se deve a maior quantidade de hidróxido presente no material sedimentado, proveniente do resíduo da ETA adicionado ao ensaio de Jar Test. Esses resultados confirmam os resultados obtidos por Richter (2009), cuja indicação foi que os lodos com menor proporção de hidróxido de alumínio são mais fáceis de adensar e, portanto, desaguar.

Tabela 25. Resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test - série de ensaios 3.

Série 3 – Turbidez = 218 UNT					
SST do resíduo aplicado (mg/L)	-	2.678	2.678	8.556	8.556
Coagulante (% da dosagem da ETA)	100	35	40	45	55
SST do material sedimentado (mg/L)	9.460	12.540	12.540	18.970	16.630
Parâmetro	Resultados				
Resistência específica ($\times 10^{12}$ m/kg)	3,8	6,3	6,1	9,0	6,1

Na série 2, o comportamento foi semelhante ao da série 3, porém com a exceção do material que recebeu resíduo com SST igual a 7.500 mg/L. Nesse caso, o desaguamento foi favorecido já que resistência foi inferior a obtida no branco, como apresentado na Tabela 26.

Tabela 26. Resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test - série de ensaios 2.

Série 2 – Turbidez = 95 UNT			
SST do resíduo aplicado (mg/L)	-	3.645	7.500
Coagulante (% da dosagem da ETA)	100	75	50
SST do material sedimentado (mg/L)	6.329	9.657	11.743
Parâmetro	Resultados		
Resistência específica ($\times 10^{12}$ m/kg)	8,3	9,4	6,8

Segundo a classificação de Grandin (1992), os materiais sedimentados são considerados de difícil desaguamento, exceto aquele gerado na série 3 sem aplicação de resíduo, cuja resistência é de $3,8 \times 10^{12}$ m/Kg. Segundo este autor, a comparação dos resultados de resistência específica de resíduos de estudos distintos, deve ser cuidadosa. Deve-se levar

em consideração, dentre outros aspectos, o condicionamento químico, a idade do lodo, a área do meio filtrante utilizada no teste, já que podem ocorrer variações nas determinações por alterações na espessura da torta, efeitos de parede e eventual compressão da torta.

Nos estudos realizados por Grandin (1992), o lodo novo de decantador (tempo de armazenamento inferior a 10 dias) apresenta desaguamento superior à do lodo velho, quando não há condicionamento químico. No caso deste estudo, o tempo de armazenamento do material sedimentado foi superior a 10 dias, indicando que o deságue poderia ser superior se o processo de desidratação fosse feito com o material mais novo, como ocorreria em uma ETA.

Ainda que não tenha sido realizado condicionamento químico do material sedimentado para o teste de resistência, sabe-se que a adição de polieletrólito poderia melhorar substancialmente o seu desaguamento, já que garantiria a formação de uma estrutura pouco compressível e de alta filtrabilidade.

Na Figura 37 observa-se que não houve correlação entre a resistência específica e a concentração de SST nas amostras. Segundo Christensen e Dick (1985) apud Grandin (1992), a resistência se torna relativamente independente para altas concentrações de SST, como é o caso deste estudo.

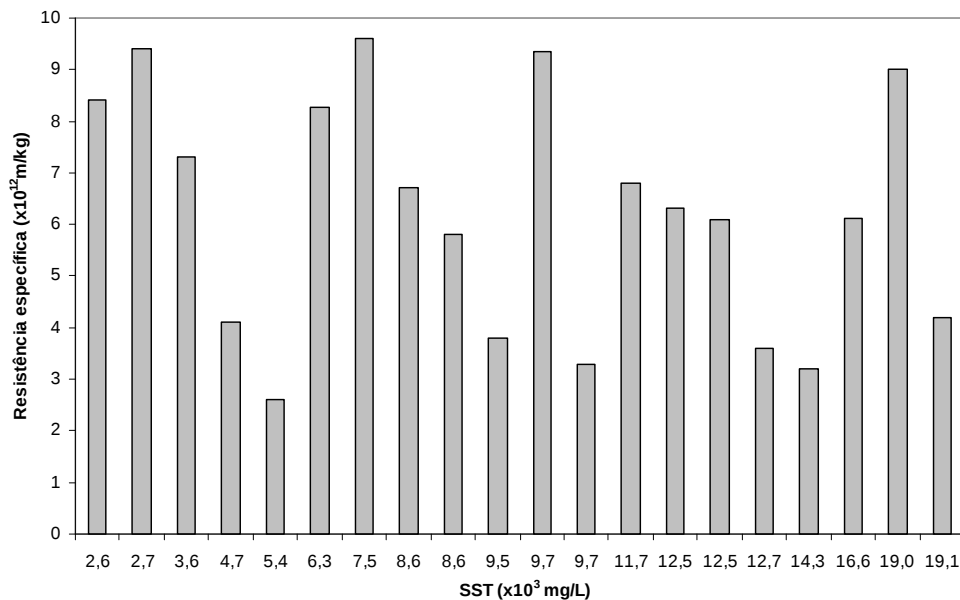


Figura 37. Valores de resistência específica em função da concentração de SST no resíduo aplicado no ensaio de Jar Test e no material sedimentado na cuba do Jar Test

A Tabela C.1, no anexo C, apresenta o volume filtrado em função do tempo de filtração, utilizado no cálculo da resistência específica dos materiais sedimentados gerados após realização dos ensaios de Jar Test nos ensaios das séries 2 e 3. As Figuras C.1 a C.8

apresentam a relação “t/v” em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica dos materiais sedimentados na série de ensaios 2 e 3.

5.4.3.3 Desaguamento por centrifugação do material sedimentado

5.4.3.3.1 Série de ensaios 2

O ensaio de centrifugação do material sedimentado permitiu verificar a influência da aplicação do polieletrólito não iônico e do resíduo da ETA no processo de desaguamento.

O teor de SST_r em função do tempo de centrifugação, o volume do centrifugado e a turbidez do sobrenadante após 60 minutos de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito não iônico empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 100% da dosagem de coagulante e não recebeu o resíduo da ETA, na série 2, são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27. Teor de SST_r, turbidez do sobrenadante e volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 100% da dosagem de coagulante usada na ETA e não recebeu resíduo da ETA - série 2.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)									Volume do centrifugado após 60 min (mL)	Turbidez após 60 min (UNT)
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0		
	SST _r (x10 ³ mg/L)										
0,0	211	211	211	316	316	316	316	316	316	0,2	1,7
2,0	211	211	211	211	316	316	316	316	316	0,2	0,6
3,0	211	316	316	316	316	316	316	316	316	0,2	0,5
4,0	211	211	211	316	316	316	316	316	316	0,2	0,5
5,0	211	211	211	211	316	316	316	316	316	0,2	0,8
6,0	211	316	316	316	316	316	316	316	316	0,2	0,8

Após 60 minutos de centrifugação, as concentrações de SST_r foram iguais para todas as dosagens de polieletrólito não iônico, porém com a turbidez do sobrenadante diferente, chegando a 0,5 UNT com o emprego de 3,0 g polieletrólito/ kg de SST. Utilizando 2,0 g polieletrólito/ kg de SST, a turbidez foi praticamente igual (0,6 UNT), sendo viável essa dosagem.

A Tabela 28 apresenta o teor de SST_r em função do tempo de centrifugação, o volume do centrifugado e a turbidez do sobrenadante após 60 minutos de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito não iônico empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu o resíduo com SST igual a 3.645 mg/L.

Tabela 28. Teor de SST_r, turbidez do sobrenadante e volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 75% da dosagem de coagulante usada na ETA e resíduo da ETA com SST = 3.645 mg/L - série 2.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)										Volume do centrifugado após 60 min (mL)	Turbidez após 60 min (UNT)
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0			
	SST _r (x10 ³ mg/L)											
0,0	241	241	322	322	322	322	322	322	322	322	0,3	1,6
2,0	241	241	322	322	322	322	322	322	322	322	0,3	0,5
3,0	193	241	241	241	241	241	241	241	241	241	0,2	0,7
4,0	193	241	241	241	241	241	241	241	241	241	0,2	1,0
5,0	193	241	241	241	241	241	241	241	241	241	0,2	0,8
6,0	241	241	322	322	322	322	322	322	322	322	0,3	0,7

Nessa situação para o tempo de 60 minutos, a maior concentração de SST_r e a menor turbidez no sobrenadante foram obtidos com o emprego de 2,0 g polieletrólito/ kg de SST, embora não tenha sido verificado grandes variações no adensamento do centrifugado ao longo do tempo.

Segundo Guimarães (2007), os polieletrólitos interagem apenas com a superfície dos flocos, não provocando alterações importantes na distribuição de água na estrutura interna dos mesmos. Assim, uma vez formados os flocos, a centrifugação não consegue modificar a sua estrutura, para uma melhora substancial no desaguamento dos resíduos, como observado neste estudo.

Comparando os resultados das Tabelas 27 e 28 pode ser observado que a utilização do resíduo como auxiliar de floculação favoreceu a redução do coagulante no tratamento da água e o deságue por centrifugação do material sedimentado. No ensaio de centrifugação sem utilização de polieletrólito não iônico, após 60 minutos de centrifugação, a concentração de SST_r foi de 316x10³ mg/L ocupando um volume de 0,2 mL para a situação sem utilização de resíduo da ETA e de 322x10³ mg/L ocupando um volume de 0,3 mL, utilizando 3.645 mg/L de resíduo da ETA. A turbidez no sobrenadante para as duas situações foi a mesma, ou seja, próximo a 1,6 UNT.

A Tabela 29 apresenta os resultados do ensaio de centrifugação utilizando o material sedimentado que recebeu o resíduo com SST igual a 7.500 mg/L. Neste caso foi necessária maior dosagem de polieletrólito (6,0 g de polieletrólito/ kg de SST) para obter, simultaneamente, o centrifugado mais concentrado e a menor turbidez do sobrenadante.

A aplicação de 7.500 mg/L de resíduo da ETA, sem a utilização de polieletrólito não iônico, prejudicou a qualidade do sobrenadante, uma vez que a turbidez foi de 2,5 UNT, ou seja, maior que a dos outros ensaios.

Tabela 29. Teor de SST_r, turbidez do sobrenadante e volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 50% da dosagem de coagulante usada na ETA e resíduo da ETA com SST = 7.500 mg/L - série 2.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)									Volume do centrifugado após 60 min (mL)	Turbidez após 60 min (UNT)
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0		
	SST _r (x10 ³ mg/L)										
0,0	196	235	235	235	235	235	294	294	294	0,4	2,5
2,0	196	235	235	235	235	235	235	235	235	0,5	1,1
3,0	235	235	235	235	235	235	235	235	235	0,5	1,5
4,0	196	235	235	235	235	235	235	235	235	0,5	1,5
5,0	196	235	235	235	235	235	235	235	235	0,5	2,1
6,0	235	235	235	294	294	294	294	294	294	0,4	2,1

Com relação ao centrifugado, a maior concentração de SST_r foi igual a 294x10³ mg/L ocupando um volume de 0,4 mL, em 02 (duas) situações, sem a utilização de polieletrólito e com a dosagem de 6,0 g polieletrólito/ kg SST. Isso indica que, com a ausência de polieletrólito obtêm-se uma concentração de sólidos no centrifugado igual à no centrifugado com polieletrólito, e ligeiramente inferior sem a aplicação do resíduo de ETA. Isto é, a aplicação do resíduo nessa concentração também favoreceu o deságue do material sedimentado.

A Tabela 30 apresenta os melhores resultados obtidos no ensaio de centrifugação do material sedimentado na série 2, considerando simultaneamente a maior concentração de sólidos e a menor turbidez do sobrenadante.

Tabela 30. Resumo dos melhores resultados do ensaio de centrifugação do material sedimentado na série de ensaios 2.

	Série 2 – Turbidez = 95 UNT		
SST do resíduo aplicado (mg/L)	-	3.645	7.500
Coagulante (% da dosagem da ETA)	100	75	50
SST do material sedimentado na cuba de Jar Test (mg/L)	6.329	9.657	11.743
Parâmetros	Resultados		
Melhor dosagem de polieletrólito (g poli/kg SST)	2,0	2,0	6,0
▪ SST _r no centrifugado (x10 ³ mg/L)	316	322	294
▪ Volume do centrifugado (mL)	0,2	0,3	0,4
▪ Turbidez no sobrenadante (UNT)	0,6	0,5	2,1

De maneira geral para os ensaios da série 2, a utilização do polieletrólito não iônico auxiliou na obtenção de um sobrenadante com menor turbidez. Com relação a concentração de sólidos, pode ser observado que com a maior concentração de resíduo da ETA aplicado no tratamento de água, a concentração do centrifugado diminuiu.

Outros polieletrólitos, catiônicos e aniônicos, são empregados no condicionamento químico do resíduo de ETA. Embora não estudados na presente pesquisa, sabe-se que podem fornecer resultados diferentes, sendo estes melhores, piores ou iguais aos obtidos na pesquisa.

As Tabelas C.2 a C.4, no anexo C, apresentam o volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no teste, utilizando as amostras de resíduo aplicadas na série 2.

5.4.3.3.2 Série de ensaios 3

A Tabela 31 apresenta o teor de SST_r em função do tempo de centrifugação, o volume do centrifugado e a turbidez do sobrenadante após 60 minutos de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito não iônico empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 100% da dosagem de coagulante e não recebeu o resíduo da ETA, na série 3.

Tabela 31. Teor de SST_r , turbidez do sobrenadante e volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 100% da dosagem de coagulante usada na ETA e não recebeu resíduo da ETA - série 3.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)									Volume do centrifugado após 60 min (mL)	Turbidez após 60 min (UNT)
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0		
	SST _r (x10 ³ mg/L)										
0,0	315	315	315	315	315	473	473	473	473	0,2	1,9
2,0	236	315	315	315	315	315	315	315	315	0,3	0,7
3,0	315	315	315	315	315	315	315	315	315	0,3	0,9
4,0	236	236	236	236	236	315	315	315	315	0,3	0,5
5,0	236	315	315	315	315	315	315	315	315	0,3	0,7
6,0	315	315	473	473	473	473	473	473	473	0,2	0,7

Após 60 minutos de centrifugação, a maior concentração de SST_r (473×10^3 mg/L) e a menor turbidez (0,7 UNT) no sobrenadante foram obtidas com o emprego de 6,0 g polieletrólito/ kg de SST. Essa mesma concentração de SST_r foi obtida sem a aplicação do polieletrólito, porém com a turbidez do sobrenadante maior (1,9 UNT). Esse resultado evidencia a importância do produto químico na qualidade do sobrenadante, como indicado nos ensaios da série 2.

O teor de SST_r em função do tempo de centrifugação, o volume do centrifugado e a turbidez do sobrenadante após 60 minutos de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito não iônico empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu o resíduo com SST igual a 2.678 mg/L são apresentados nas Tabelas 32 e 33.

Tabela 32. Teor de SST_r, turbidez do sobrenadante e volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 35% da dosagem de coagulante usada na ETA e o resíduo da ETA com SST = 2.678 mg/L - série 3.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)										Volume do centrifugado após 60 min (mL)	Turbidez após 60 min (UNT)
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0			
	SST _r (x10 ³ mg/L)											
0,0	251	313	313	313	418	418	418	418	418	0,3	13,4	
2,0	251	313	313	313	313	313	313	313	313	0,4	2,9	
3,0	251	313	313	313	313	313	313	313	313	0,4	6,7	
4,0	313	313	313	313	313	313	313	313	313	0,4	6,3	
5,0	251	313	313	313	313	313	313	313	313	0,4	8,5	
6.0	313	418	418	418	418	418	418	418	418	0,3	10,0	

Tabela 33. Teor de SST_r, turbidez do sobrenadante e volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 40% da dosagem de coagulante usada na ETA e o resíduo da ETA com SST = 2.678 mg/L - série 3.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)										Volume do centrifugado após 60 min (mL)	Turbidez após 60 min (UNT)
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0			
	SST _r (x10 ³ mg/L)											
0,0	251	313	313	313	313	418	418	418	418	0,3	13,3	
2,0	251	313	313	313	313	313	313	313	313	0,4	3,1	
3,0	251	313	313	313	313	313	313	313	313	0,4	6,8	
4,0	313	313	313	313	313	313	313	313	313	0,4	6,7	
5,0	251	313	313	313	313	313	313	313	313	0,4	9,4	
6,0	313	313	418	418	418	418	418	418	418	0,3	10,0	

A variação da dosagem de coagulante (35% e 45% da dosagem de coagulante utilizada na ETA) não provocou alterações significativas na concentração de SST_r e na turbidez sobrenadante. Esse resultado é justificado devido as concentrações de SST dos materiais sedimentados na cuba de Jar Test e utilizados no ensaio de centrifugação serem iguais (12.540 mg/L). Nestes casos, o menor valor de turbidez e a maior concentração de SST_r foram obtidos com o emprego de 6,0 g polieletrólito/ kg de SST.

Comparando os resultados das Tabelas 32 a 33 observa-se que a utilização do resíduo como auxiliar de floculação não favoreceu o deságue por centrifugação do material sedimentado. No ensaio de centrifugação sem utilização de polieletrólito, após 60 minutos de

centrifugação, a concentração de SST_r foi de 473×10^3 mg/L ocupando um volume de 0,2 mL para a situação sem utilização de resíduo da ETA e de 418×10^3 mg/L ocupando um volume de 0,3 mL, utilizando 2.678 mg/L de resíduo da ETA. A turbidez no sobrenadante para as duas situações foi a bastante diferente, sendo igual a 1,9 UNT sem aplicação do resíduo da ETA e 13,4 UNT com a aplicação do resíduo.

Nas situações em que foi aplicado o resíduo com SST igual a 8.556 mg/L, as concentrações de SST_r e turbidez do sobrenadante variaram de acordo com a dosagem de coagulante (45% e 55% da dosagem de coagulante utilizada na ETA), como apresentado nas Tabelas 34 e 35. Convém dizer, que os SST dos materiais sedimentados na cuba de Jar Test e utilizados no ensaio de centrifugação são diferentes (18.970 e 16.630 mg/L, respectivamente).

Tabela 34. Teor de SST_r , turbidez do sobrenadante e volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 45% da dosagem de coagulante usada na ETA e o resíduo da ETA com SST = 8.556 mg/L - série 3.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)									Volume do centrifugado após 60 min (mL)	Turbidez após 60 min (UNT)
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0		
	SST_r ($\times 10^3$ mg/L)										
0,0	190	237	237	271	271	271	271	271	316	0,6	3,7
2,0	237	271	271	271	271	271	271	271	271	0,7	1,3
3,0	237	271	271	271	271	271	271	271	271	0,7	1,4
4,0	237	271	271	271	271	271	271	271	271	0,7	1,6
5,0	237	271	271	271	271	271	271	271	271	0,7	2,3
6,0	237	271	271	271	316	316	316	316	316	0,6	2,5

Tabela 35. Teor de SST_r , turbidez do sobrenadante e volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 55% da dosagem de coagulante usada na ETA e o resíduo da ETA com SST = 8.556 mg/L - série 3.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)									Volume do centrifugado após 60 min (mL)	Turbidez após 60 min (UNT)
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0		
	SST_r ($\times 10^3$ mg/L)										
0,0	185	238	238	238	277	277	277	277	277	0,6	1,1
2,0	208	238	238	238	238	238	238	238	238	0,7	0,9
3,0	238	277	277	277	277	277	277	277	277	0,6	1,1
4,0	238	238	238	238	277	277	277	277	277	0,6	1,0
5,0	238	238	238	238	277	277	277	277	277	0,6	0,8
6,0	238	277	277	277	277	277	277	277	277	0,6	1,0

A aplicação de 8.556 mg/L e 45% da dosagem de coagulante usada na ETA, sem a utilização de polieletrólito, prejudicou a qualidade do sobrenadante, uma vez que a turbidez foi de 3,7 UNT, ou seja, maior que a do ensaio sem aplicação de resíduo da ETA (1,9 UNT).

Com relação ao centrifugado, a maior concentração de SST_r foi igual a 316×10^3 mg/L ocupando um volume de 0,6 mL, em 02 (duas) situações, sem a utilização de polieletrólito e com a dosagem de 6,0 g polieletrólito/ kg SST. Isto é, sem o emprego de polieletrólito a concentração de sólidos no centrifugado é igual à no centrifugado com polieletrólito e muito inferior à no centrifugado sem aplicação do resíduo de ETA (473×10^3 mg/L), indicando que a aplicação do resíduo nessa concentração não favoreceu o deságue do material sedimentado.

Para a aplicação de 8.556 mg/L de resíduo e 55% da dosagem de coagulante, sem a utilização de polieletrólito, a qualidade do sobrenadante melhorou se comparada à qualidade sem aplicação do resíduo da ETA. Nessa situação, o polieletrólito não teve grande influencia na qualidade do sobrenadante, visto que sem a utilização do mesmo a turbidez foi de 1,1 UNT e com a utilização a menor turbidez foi de 0,8 UNT.

No que se refere ao centrifugado, a maior concentração de SST_r foi igual a 277×10^3 mg/L ocupando um volume de 0,6 mL, exceto para a dosagem igual a 2 g polieletrólito/ kg SST, cuja concentração foi de 237×10^3 mg/L. Sem o emprego de polieletrólito a concentração de sólidos no centrifugado é igual à no centrifugado com polieletrólito e muito inferior ao obtido sem aplicação do resíduo de ETA (473×10^3 mg/L). Assim, a aplicação do resíduo da ETA não favoreceu o deságue do material sedimentado.

A Tabela 36 apresenta os melhores resultados obtidos no ensaio de centrifugação do material sedimentado na série 3.

Tabela 36. Resumo dos resultados do desaguamento por centrifugação do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test - série de ensaios 3.

	Série 3 – Turbidez = 218 UNT				
	-	2.678	2.678	8.556	8.556
SST do resíduo aplicado (mg/L)	-	2.678	2.678	8.556	8.556
Coagulante (% da dosagem da ETA)	100	35	40	45	55
SST do material sedimentado na cuba (mg/L)	9.460	12.540	12.540	18.970	16.630
Parâmetros		Resultados			
Melhor dosagem de polieletrólito (g poli/kg SST)	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0
▪ SST _r no centrifugado ($\times 10^3$ mg/L)	473	418	418	316	277
▪ Volume ocupado pelo centrifugado (mL)	0,2	0,3	0,3	0,6	0,6
▪ Turbidez no sobrenadante (UNT)	0,7	10,0	10,0	2,5	0,8

Assim como constatado na série 2, nos ensaios da série 3 a utilização do polieletrólito não iônico para o deságue auxiliou na obtenção de um sobrenadante com menor turbidez. Com relação a concentração de sólidos, pode ser observado que a maior

concentração de resíduo da ETA aplicado no tratamento de água ocasionou redução na concentração de SST no centrifugado.

As Tabelas C.5 a C.9, no anexo C, apresentam o volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no teste, utilizando as amostras de resíduo aplicadas na série de ensaios 3.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os ensaios realizados em escala laboratorial sobre a aplicação do resíduo de decantador de ETA nos processos de coagulação, floculação e sedimentação do tratamento de água, que utiliza sulfato de alumínio como coagulante, permitiram concluir que:

a) O aumento da turbidez da água bruta possibilitou a aplicação do resíduo da ETA mais concentrado em termos de SST, mantendo a eficiência do tratamento quanto a remoção de turbidez ou melhorando-a, e obtendo resultados mais satisfatórios em termos de volume de materiais sedimentáveis. Essa relação não foi de forma linear;

b) A redução de coagulante empregada no tratamento da água foi na faixa de 50 a 60% para a maioria das situações onde se aplicou o resíduo da ETA e os resultados foram satisfatórios quanto a remoção de turbidez;

c) Há benefícios ambientais na aplicação do resíduo no tratamento de água ao se reduzir a dosagem de coagulante utilizado no processo, como menor consumo de matéria-prima para fabricação do produto;

d) A aplicação do resíduo da ETA no tratamento de água não provocou alterações significativas na qualidade da água sobrenadante quanto a remoção de coliformes e concentrações de sólidos, para os resultados satisfatórios quanto a remoção de turbidez;

e) A redução da dosagem de coagulante favoreceu a redução do volume ocupado pelos materiais sedimentáveis independente da concentração de resíduo aplicado no tratamento de água;

f) A aplicação do resíduo da ETA melhorou a sedimentabilidade dos materiais sedimentados quando aplicados os resíduos com SST maior que 7.500 mg/L para água com turbidez na ordem de 100 UNT, e menor que 8.600 mg/L para água com turbidez na ordem de 210 UNT;

g) O desaguamento do material sedimentado por meio do teste de resistência específica ficou prejudicado com a aplicação do resíduo da ETA, exceto para a água com 100 UNT aplicando-se 7.500 mg/L de resíduo e 50% de coagulante;

h) Não houve correlação entre a resistência específica e a concentração de SST nas amostras analisadas;

i) A aplicação dos resíduos com 3.642 mg/L e 75% de coagulante, e 7.500 mg/L utilizando 50% de coagulante, melhorou as características do material sedimentado para o deságue por meio de centrifugação; e

j) O polieletrólito não iônico auxiliou na melhora da qualidade do sobrenadante nos ensaios de centrifugação, com e sem a aplicação do resíduo da ETA, embora não tenha influenciado no deságue do material sedimentado.

De acordo com as conclusões obtidas na pesquisa recomenda-se que:

a) Sejam realizados estudos verificando a viabilidade ou não da aplicação do resíduo da ETA no tratamento de água para cada caso onde se tenha interesse em empregar a técnica, a fim de se conhecer a quantidade de resíduo e a dosagem de coagulante a ser aplicada, para se evitar a queda na eficiência dos processos de coagulação, floculação e sedimentação do tratamento de água;

b) Antes da aplicação da técnica em escala real, sejam realizados estudos específicos referentes ao monitoramento dos microrganismos, por exemplo, cistos de *Giardia*, e dos compostos químicos indesejáveis que o resíduo pode acarretar ao tratamento;

c) Outros polieletrólitos, catiônicos e aniônicos, sejam empregados no estudo do condicionamento químico do material sedimentado para o deságue por centrifugação;

d) Sejam realizados estudos considerando o condicionamento químico do material sedimentado para o deságue por meio de filtração, verificando as vantagens e desvantagens;

e) O estudo da aplicação do resíduo da ETA no tratamento da água seja realizado de tal forma que a água bruta e o material sedimentado sejam analisados em menor tempo possível, reduzindo as interferências do armazenamento; e

f) A aplicação do resíduo de decantador no tratamento de água, em escala real, seja realizada após ensaios de bancada em escala maior e após ensaios pilotos. Os resultados obtidos nesse trabalho devem ser utilizados como subsidio para esses novos ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, N. A, GONÇALVES, M. C., GUIMARÃES, S. A. Z. Utilização do teste de resistência específica na operação de filtros prensa. **Revista DAE**, v. 51, n. 160, p. 20-26. 1991.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 20 ed., 1998. Washington, D.C, USA.

ANDREOLI, C. V. et al. Produção, composição e constituição de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA). In: ANDREOLI, C.V. (coord). **Usos alternativos de lodos de estações de tratamento de água e estações de tratamento de esgoto**. Curitiba: Prosab, 2006. cap 3, p. 29-48.

ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; Companhia de Saneamento do Paraná. v. 6, p. 484. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – **NBR 10.004 – Resíduos Sólidos - Classificação**. Norma Técnica. ABNT, Rio de Janeiro - RJ, 2004.

BACHE, D. H.; PAPAVASILOPOULOS, E. N. Dewatering of alumino-himic sludge: impacts of hydroxide. **Water Research: a Journal of the International Water Association**, v. 37, n. 14, p. 3289-3298, 2003.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Produção de Sólidos em ETAs Estudo de caso - ETA São Carlos (São Paulo/Brasil). In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28. 2002, Cancún, México. **Anais Eletrônicos**. Cancún.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas: 1961-1990**. Brasília, DF, 1992. 84 p.

BRASIL. **Portaria nº 518 em 25 de março de 2004**. Normas e Padrão da potabilidade de água destinada ao consumo humano. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 26 mar. 2004. Seção 1, p. 266.

BRASIL. **Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 02 ago. 2010.

CASTRO, A. A. et al. O problema da Caracterização Qualitativa e Quantitativa dos Efluentes Gerados nas Estações de Tratamento de Água – O Caso da Unidade de Tratamento e Recuperação de Resíduos – UTR do Sistema Rio das Velhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19. 1997, Foz do Iguaçu. **Anais Eletrônicos II** – 059. Foz do Iguaçu: ABES, 1997. p. 1423-1431.

CORDEIRO, J.S. **Disposição, tratabilidade e reuso de lodos de ETA**. 1981. 155 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1981.

____. **O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de águas**. 1993. 342p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

____. Processamento de lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs). In: ANDREOLI, C.V. (coord). **Aproveitamento do lodo gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, inclusive com a utilização de técnicas consorciadas com resíduos sólidos urbanos**. Curitiba: PROSAB, 2001. cap 5. p. 121 – 141.

CORNWELL, D. A., LEER, R. G. Waste stream recycling: its effect on water quality. **Journal AWWA**, Denver, v. 86, nº 11, p. 50-63, 1994.

DEMATOS, M. et al. Redução do Volume de lodo gerado em estações de tratamento de água – A proposta de recuperação do coagulante pelo processo de acidificação no Sistema Manso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21. 2001, João Pessoa. **Anais Eletrônicos**. João Pessoa: ABES, 2001. p. 1-8.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: ABES, 1993. 496p.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B., CENTURIONE FILHO, P. L. Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. In: _____. **Procedimentos para realização de ensaios de tratabilidade de águas de abastecimento**. São Carlos: RIMA, 2002, cap 5. p. 119-168.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. Procedimento para realização de ensaios de tratabilidade da água. In: _____. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: LDiBe, 2011. cap. 7.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL-PAZ, L.P. Seleção de tecnologias de tratamento de água. In: _____. **Resíduos Gerados no Tratamento**. São Carlos: LDiBe, 2008. v. 2. cap. 6.

DI BERNARDO L., SCALIZE, P. S., SOUZA FILHO, A. G. Água de Lavagem de Filtros Rápidos. In: REALI, M. A. P. **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. PROSAB. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999, cap 7. p. 143 – 168.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro, 2008.

FERREIRA FILHO, S.S.; ALÉM SOBRINHO, P. Considerações sobre o tratamento de despejos líquidos gerados em estações de tratamento de água. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.3, n.4, p. 128 – 136. 1998.

GRANDIN, S. R. **Desidratação de lodos produzidos nas estações de tratamento de água**. 1992. 456p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.

GUIMARÃES, G. C. **Estudo do adensamento e desidratação dos resíduos gerados na ETA-Brasília**. 2007. 118p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

HOPPEN, C. et al. Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental. **Cerâmica**, v. 51, n. 318, p. 85-95, 2005.

LUCIANO, S. Y. et al. Tratabilidade de los lodos producidos en la potabilización del agua. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 26, 1998, Lima. **Anais**. Lima: AIDS, 1998.

MACHADO, L. S. M.; CARMO, W. G. S.; SIQUEIRA, E. Q. Características do lodo de ETA. Caso: Estação de Tratamento de Água Jaime Câmara em Goiânia, Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25. 2009, Recife. **Anais**. Recife: ABES, 2009.

OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 50, p.324-330, 2004.

PACHECO, L. A. M. Polieletrólitos como auxiliares de coagulação. **Revista DAE**. São Paulo, nº102, p. 46-60. 1975.

REALI, M. A. P. Principais Características Quantitativas e Qualitativas do Lodo de ETAs. In: _____. **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999, cap 2. p. 21 – 39.

REALI, M. A. P; PATRIZZI, L. J. Espessamento de lodos de ETAs. In: REALI, M. A. P. **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: PROSAB. 1999. cap 3. p. 41-84.

REALI, M. A. P.; PATRIZZI, L. J.; CORDEIRO, J.S. Desidratação de lodo por centrifugação. In: REALI, M. A. P. **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999, cap 4. p. 85-106.

RIBEIRO, F. L. M. **Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito – MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007. 115p.

RICHTER, C. A. **Tratamento de Lodos de Estação de Tratamento de Água**. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2001.

_____. Sedimentação e Decantação. In: _____. **Água: Métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Editora Blucher, 2009, cap 10. p. 160 – 218.

SANEAMENTO DE GOIÁS S/A - Saneago. **Relatório da caracterização do resíduo da ETA Engenheiro Rodolfo**. Goiás, 2009.

SARON, A.; SILVA, E. P. Redução na dosagem de sulfato de alumínio na ETA Guaraú com a utilização do sistema de recuperação de água de lavagem dos filtros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19. 1997, Foz do Iguaçu. **Anais**. Foz do Iguaçu: ABES, 1997. p. 1088 - 1097.

SCALIZE, P. S. **Caracterização e clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água que utilizam sulfato de alumínio como coagulante primário**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

SCALIZE, P. S. **Disposição de resíduos gerados em estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SCALIZE, P. S.; Di BERNARDO, L. Resistência específica de lodo obtido em ensaio de clarificação, por sedimentação, da água de lavagem de filtros rápidos de ETAs. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro. v. 4, n. 1 e 2, p. 48-54, 1999.

SCALIZE, P. S.; LEITE, W. C. A.; FORNAZZARI, J. A. Minimização da produção de lodos gerados em uma ETA através de sua automação. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 14. 2010, Porto. Portugal. **Anais**. Porto: APESB, 2010.

SILVA JUNIOR, A. P. **Tratabilidade do lodo de decantadores convencional e de alta taxa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003. 156p.

SILVA, C. P.; SILVA, J. D. Utilização do lodo de ETA objetivando o aumento da sedimentabilidade em águas com baixa turbidez: estudo de caso. In: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10. 2010, Maceió. **Anais**. Maceió: ABES, 2010. p. 1 – 5.

SOUZA, L. M.; SCALIZE, P. S. Utilização de resíduo de decantador de ETA como auxiliar de floculação. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 14. 2010, Porto. Portugal. **Anais**. Porto: APESB, 2010.

TAVARES, R. G. et al. Características físico-químicas dos resíduos das estações de tratamento de água do litoral sul do estado de Pernambuco e da Região Metropolitana do Recife. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25. 2009, Recife. **Anais**. Recife: ABES, 2009.

TEIXEIRA, L. C. G. M.; FERREIRA FILHO, S. S. Influência do tipo e da dosagem de polímero na capacidade de pré-adensamento de lodos gerados em estações de tratamento de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20. 1999, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 1031-1039.

TEIXEIRA, S. T.; MELO, W. J.; SILVA, E. T. Aplicação de lodo da estação de tratamento de água em solo degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 1, jan. 2005.

TSUTIYA, M.T.; HIRATA, A.Y. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21. 2001, João Pessoa. **Anais eletrônicos I-025**, João Pessoa: ABES, 2001. 9p.

VANACÔR, R. N. **Avaliação do coagulante orgânico Veta Organic utilizado em uma estação de tratamento de água para abastecimento público**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005. 150p.

XU, G. R. et al. Recycle of Alum recovered from water treatment sludge in chemically enhanced primary treatment. **Journal of Hazardous Materials**. China, n. 161, p. 663–669, 2009.

WOLFE, T. A., et al. Characterization of water treatment plant residuals. In: EPA, NRMRL, ASCE e AWWA. **Manuals and reports of engineering practice**, nº 88 – management of water treatment plant residuals. EUA, 1996, cap 4. p. 41-72.

WU, C. C.; HUANG, C. Effects of recycling-sludge operation on the structure and moisture content of floc in water treatment plant. **Separation Science and Technology**, New York, v.32, n. 17, p. 2873-2882, 1997.

WU, C. C; HUANG, C; LEE, D. J. Effects of polymer dosage on alum sludge dewatering characteristics and physical properties. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 122, ed. 1-3, p. 89-96. 1997.

ANEXOS

ANEXO A

No Anexo A estão contidos os resultados obtidos na caracterização das amostras de resíduo dos decantadores da ETA aplicadas nos ensaios de Jar Test.

As Tabelas A.1 e A.2 mostram o volume filtrado em função do tempo de filtração utilizado no cálculo da resistência específica para as amostras de resíduo, para as séries de ensaios 2 e 3, respectivamente. As Figuras A.1 a A.11 apresentam a relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica para as amostras de resíduo.

As Tabelas A.3 a A.10 apresentam o volume de sólidos no fundo do tubo em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando as amostras de resíduo. Apresentam também o teor de SST_r e turbidez do sobrenadante em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando as amostras de resíduo.

Tabela A. 1 - Volume filtrado em função do tempo de filtração, utilizado no cálculo da resistência específica das amostras de resíduo aplicadas na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.

Série de ensaios 2 - Turbidez = 95 UNT											
SST da amostra de resíduo (mg/L)	2.615		3.642		4.664		7.500		8.573	9.670	
Nº de teste	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2
Massa de sólidos na torta (g/25 mL)	0,067	0,057	0,118	0,092	0,110	0,120	0,178	0,183	0,203	0,264	0,255
Volume filtrado (mL)	Tempo de filtração (s)										
3	-	1,34	-	2,38	1,53	3,46	1,48	0,63	-	3,26	2,44
5	1,22	3,16	2,2	4,18	2,65	6,01	3,01	3,55	2,24	5,3	4,18
7	4,28	5,71	4,72	6,84	4,18	8,67	5,49	6,66	3,97	7,44	6,12
9	7,34	8,36	8,05	9,54	5,61	11,32	8,41	10,08	5,61	9,89	8,36
11	11,93	11,22	10,8	12,42	10,6	14,68	11,34	13,9	7,95	12,54	11,93
13	15,19	14,07	14,89	15,43	12,85	17,95	14,44	18,31	10,6	15,19	15,3
15	17,85	16,93	18,09	18,49	15,6	21,21	18,67	22,54	13,56	18,46	19,27
17	21,21	19,89	22,36	21,82	18,46	24,78	22,9	27,04	17,44	21,62	23,86
19	24,37	23,35	25,78	25,65	21,42	28,56	27,04	31,99	23,97	25,7	28,45
21	27,94	26,72	30,06	29,11	27,54	32,84	32,17	40,95	29,47	29,37	33,15
23	33,35	32,74	36,81	35,37	40,69	40,18	40,05	107,86	34,69	35,39	41,31
24	48,14	42,22	55,39	46,03	42,63	56,1	-	-	38,14	49,06	58,03
Resistência específica ($\times 10^{12}$ m/Kg)	8,6	10,0	9,2	7,0	4,7	4,3	9,1	9,7	6,3	2,5	4,7
Resistência específica média ($\times 10^{12}$ m/Kg)	9,3		8,1		4,5		9,4		6,3	3,6	

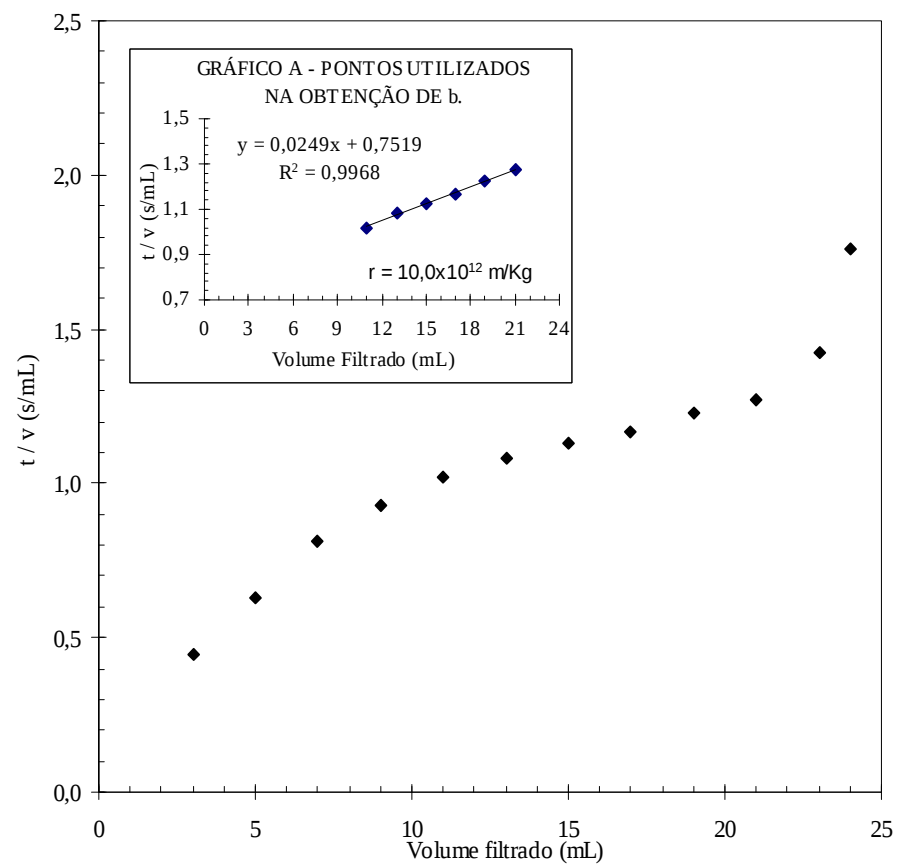
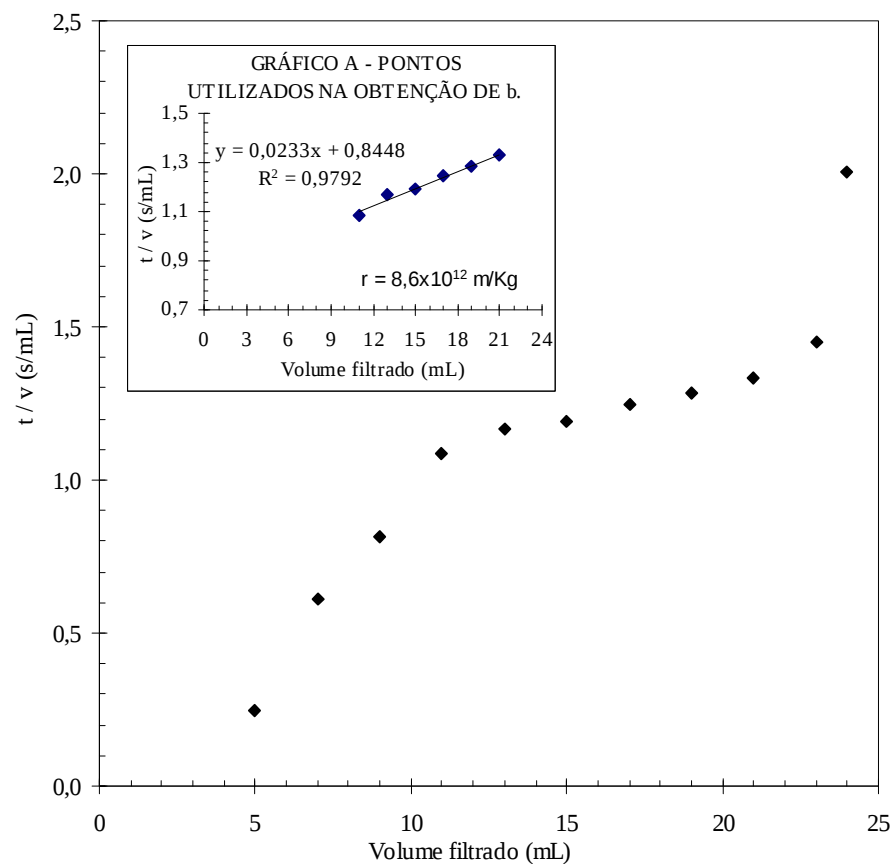


Figura A. 1. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 2.615 mg/L aplicada na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.
 Obs.: teste 1 (esquerda) e teste 2 (direita)

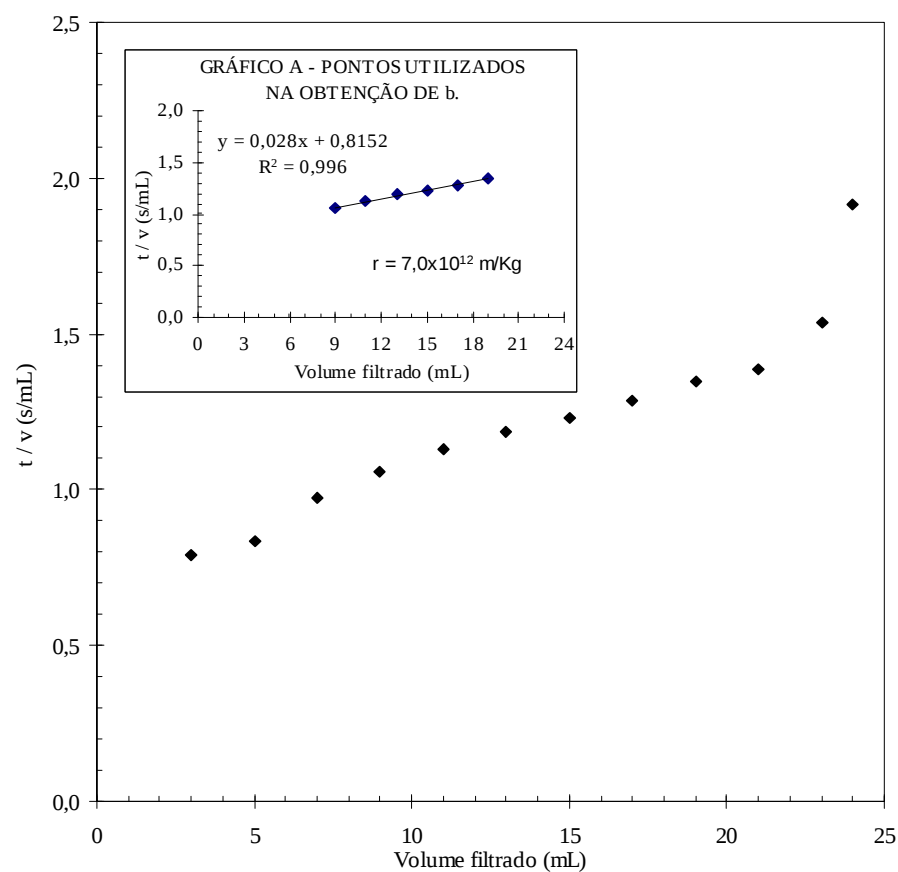
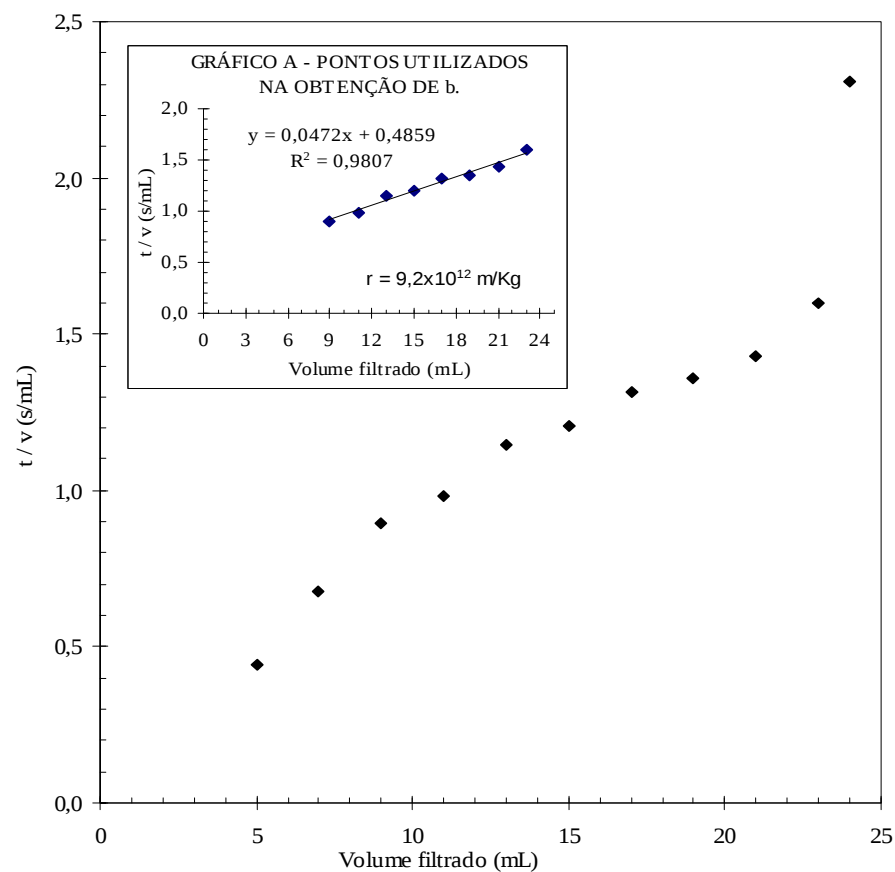


Figura A. 2. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 3.642 mg/L aplicada na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.
Obs.: teste 1 (esquerda) e teste 2 (direita)

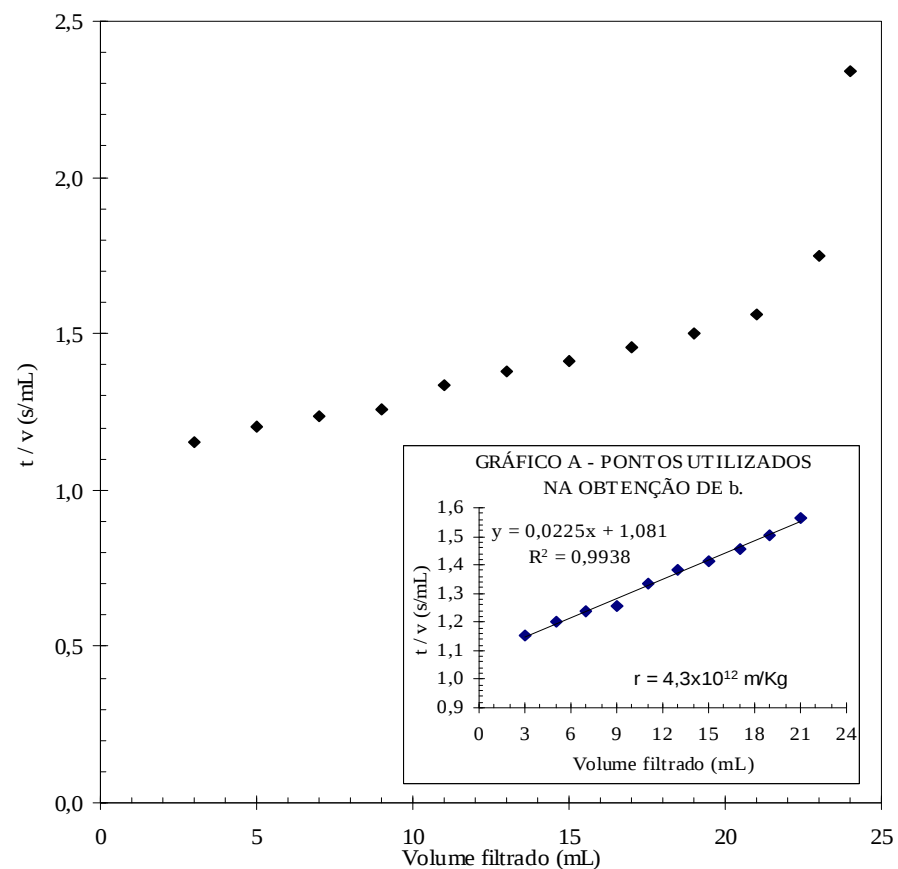
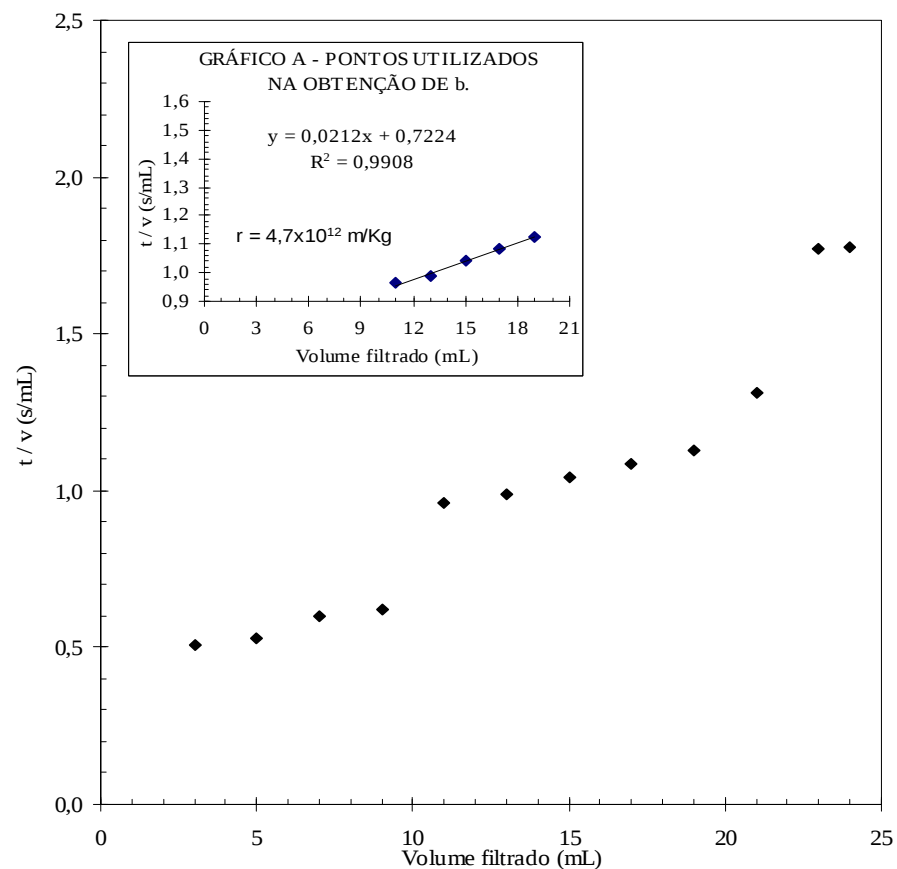


Figura A. 3. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 4.664 mg/L aplicada na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.

Obs.: teste 1 (esquerda) e teste 2 (direita)

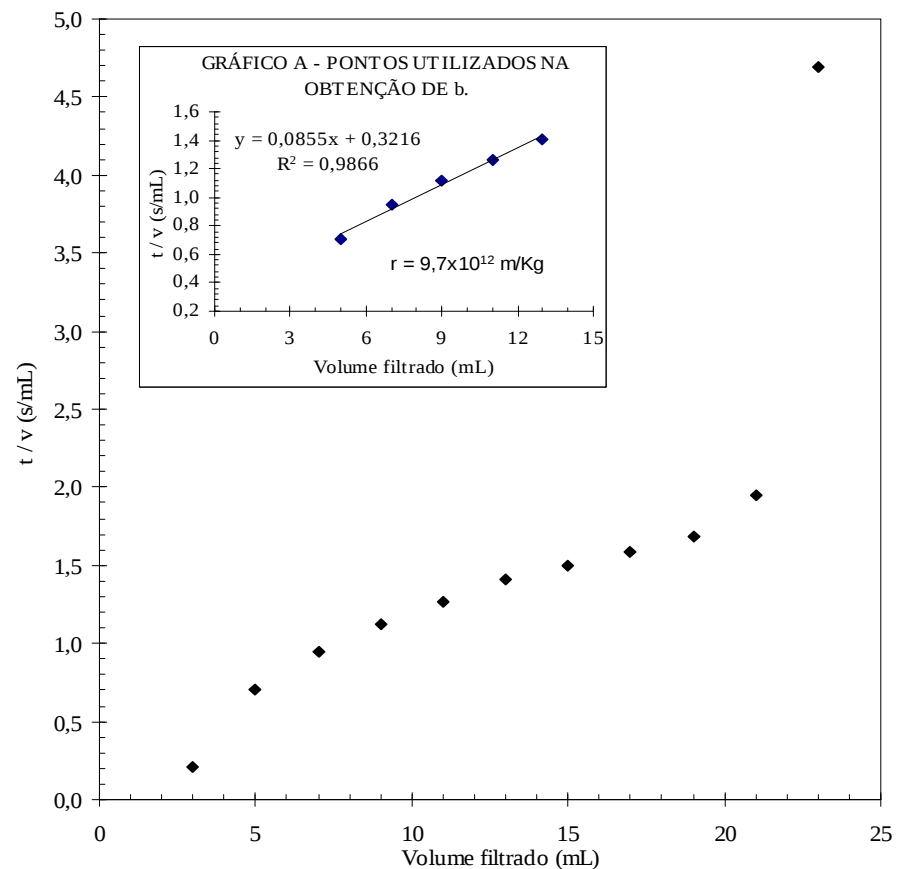
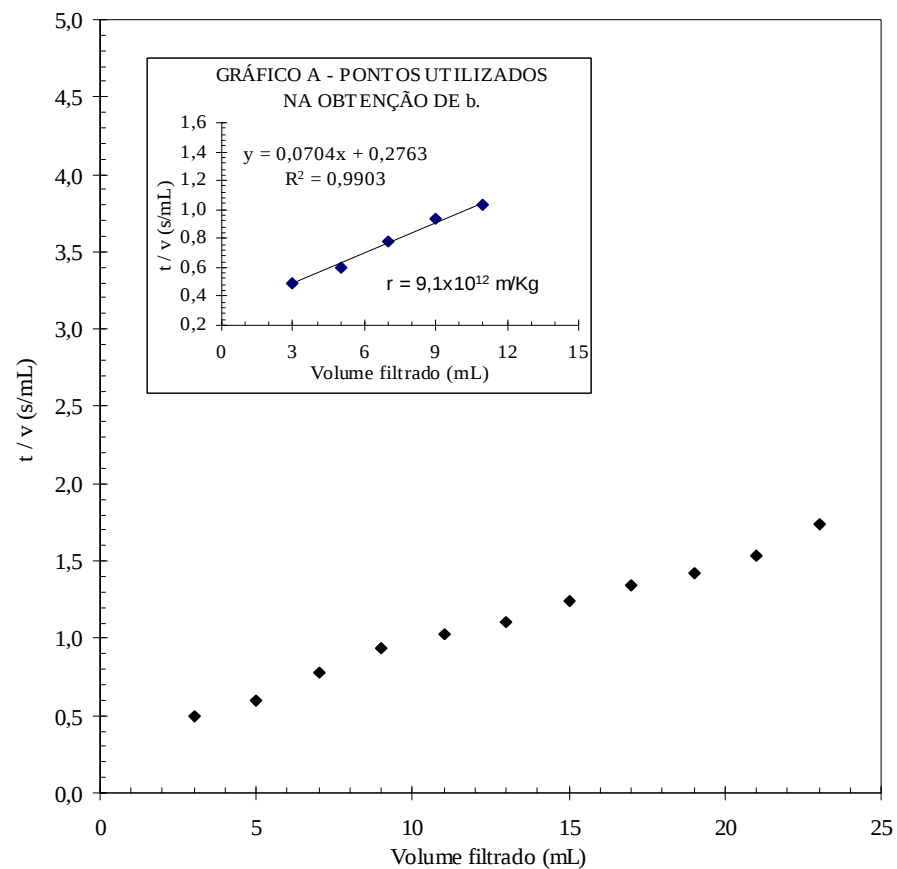


Figura A. 4. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 7.500 mg/L aplicada na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.

Obs.: teste 1 (esquerda) e teste 2 (direita)

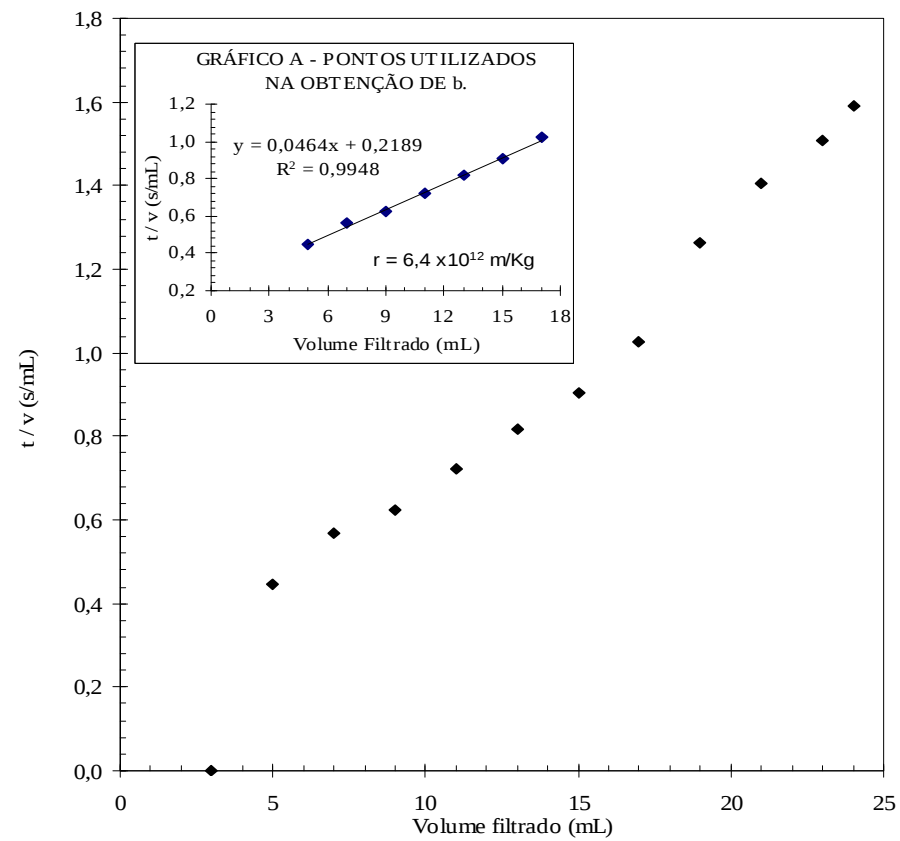


Figura A. 5. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 8.573 mg/L aplicada na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.

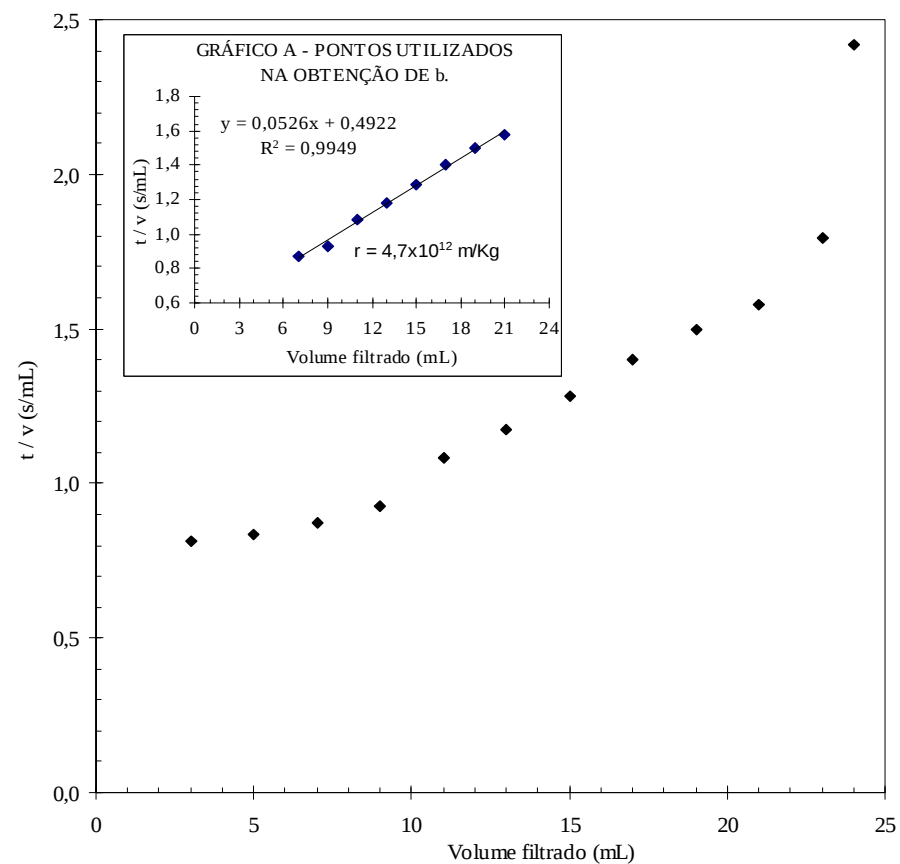
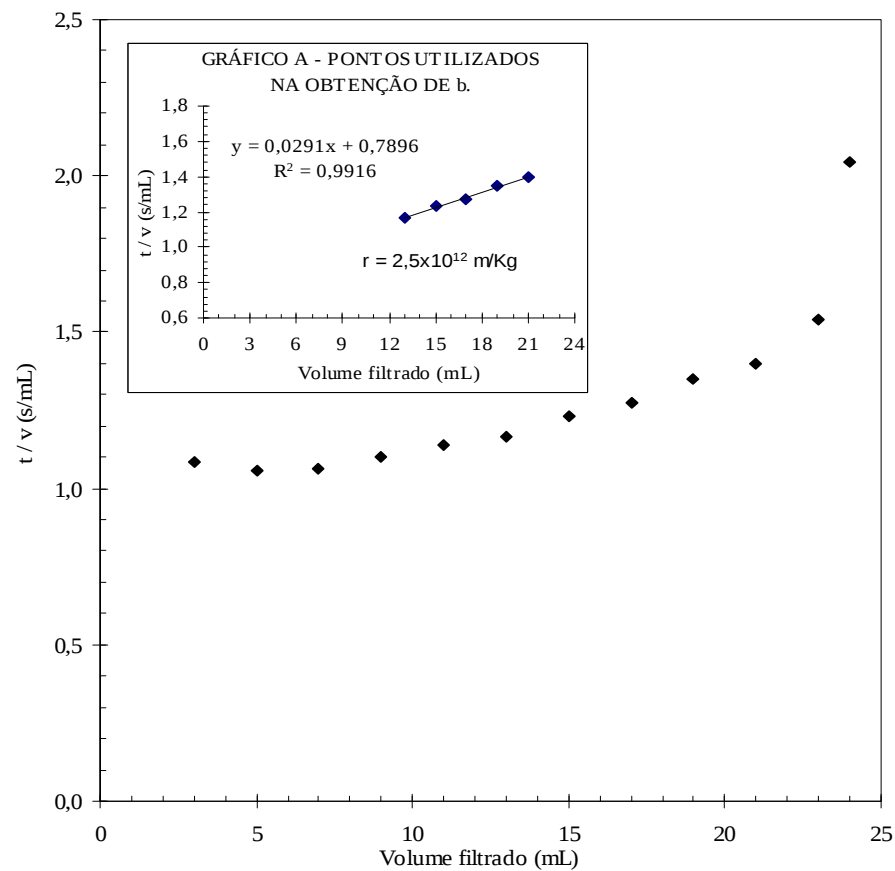


Figura A. 6. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 9.670 mg/L aplicada na série de ensaios 2 – Turbidez = 95 UNT.

Obs.: teste 1 (esquerda) e teste 2 (direita)

Tabela A. 2 - Volume filtrado em função do tempo de filtração, utilizado no cálculo da resistência específica das amostras de resíduo aplicadas na série de ensaios 3 – Turbidez = 218 UNT

Série de ensaios 3 - Turbidez = 218 UNT									
SST da amostra de resíduo (mg/L)	2.678		5.420		8.556		12.670		14.300
Nº de teste	1	2	1	2	1	2	1	2	1
Massa de sólidos na torta (g/25 mL)	0,066	0,065	0,140	0,140	0,217	0,222	0,370	0,375	0,379
Volume filtrado (mL)	Tempo de filtração (s)								
3	2,14	2,14	2,55	2,44	3,16	5,1	3,26	5,3	3,67
5	3,36	4,69	4,08	3,16	5,61	9,48	5,5	9,07	6,22
7	4,99	7,54	5,61	4,38	7,95	13,36	8,36	13,56	10,09
9	6,93	10,5	7,03	5,91	12,24	18,46	11,73	18,46	12,34
11	8,67	13,66	8,97	7,44	16,21	24,17	15,3	24,17	16,21
13	11,11	17,23	11,01	9,58	20,8	29,78	18,97	30,9	20,29
15	13,36	20,8	13,26	11,32	26,31	36,41	23,76	38,35	24,78
17	16,11	24,88	15,91	13,15	32,23	44,06	29,37	46,1	30,6
19	18,97	29,07	18,25	15,6	38,14	51,61	34,88	54,97	36,0
21	21,72	33,66	21,31	17,74	44,98	60,69	40,69	64,46	42,63
23	26,62	41,31	25,29	21,21	59,97	79,56	52,93	85,98	53,85
24	38,86	58,14	31,0	25,39	89,76	124,03	75,88	136,98	75,48
Resistência específica ($\times 10^{12}$ m/Kg)	8,0	12,7	3,0	2,6	7,5	7,4	3,1	4,9	3,5
Resistência específica média ($\times 10^{12}$ m/Kg)	10,4		2,8		7,5		4,0		3,5

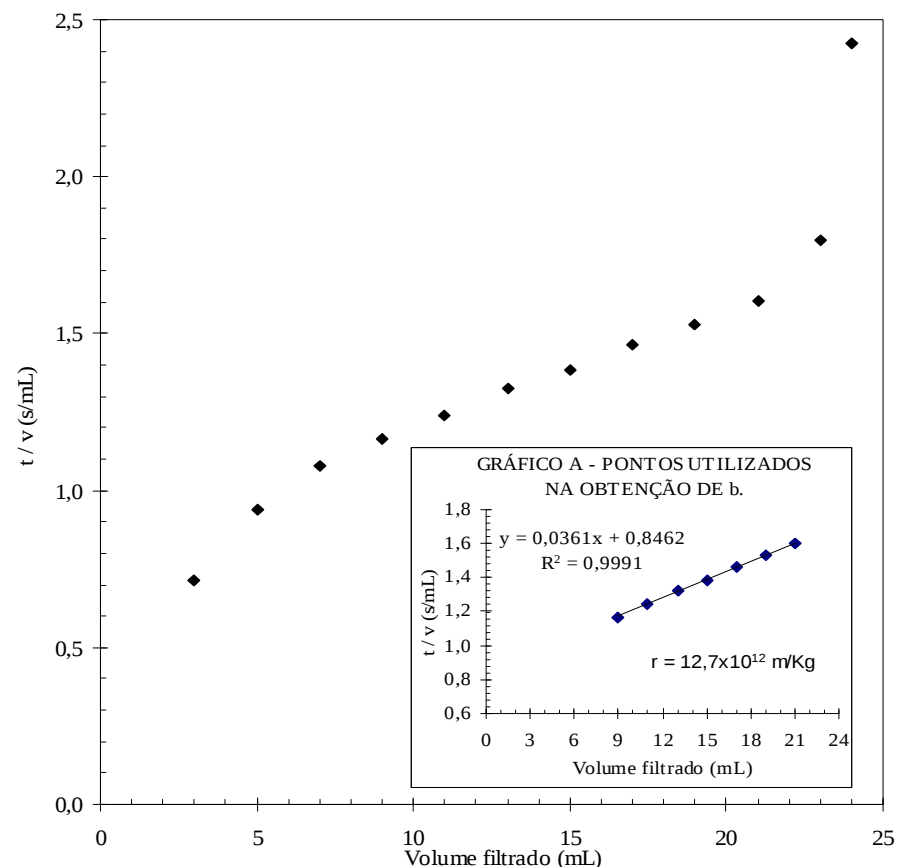
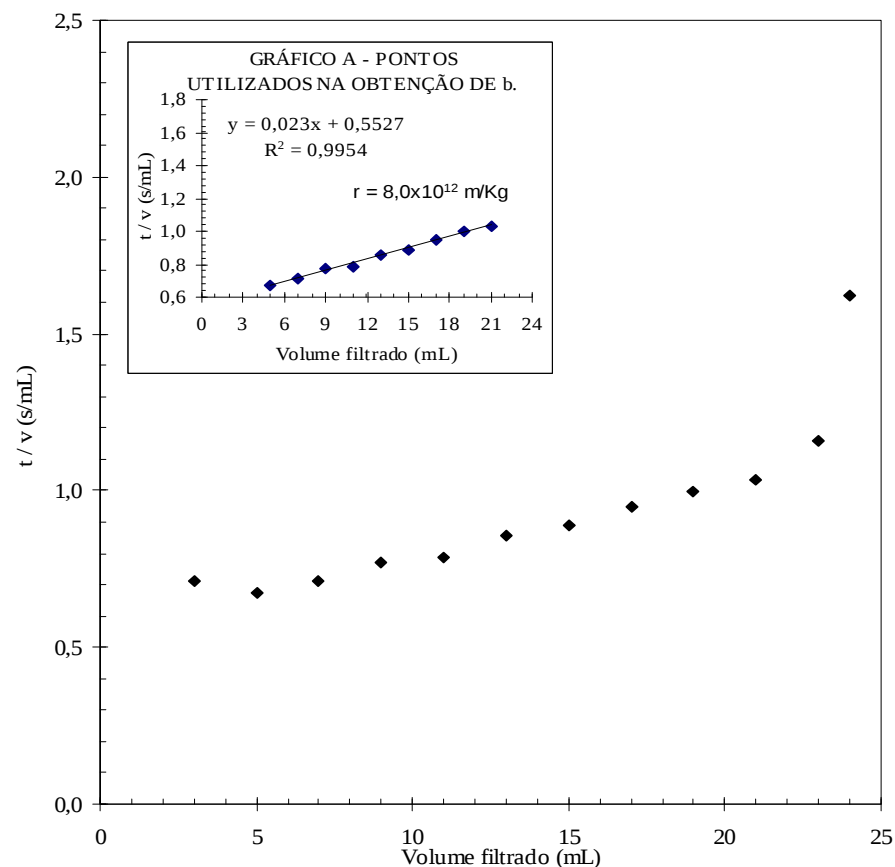


Figura A. 7. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 2.678 mg/L aplicada na série de ensaios 3 – Turbidez = 218 UNT.

Obs.: teste 1 (esquerda) e teste 2 (direita)

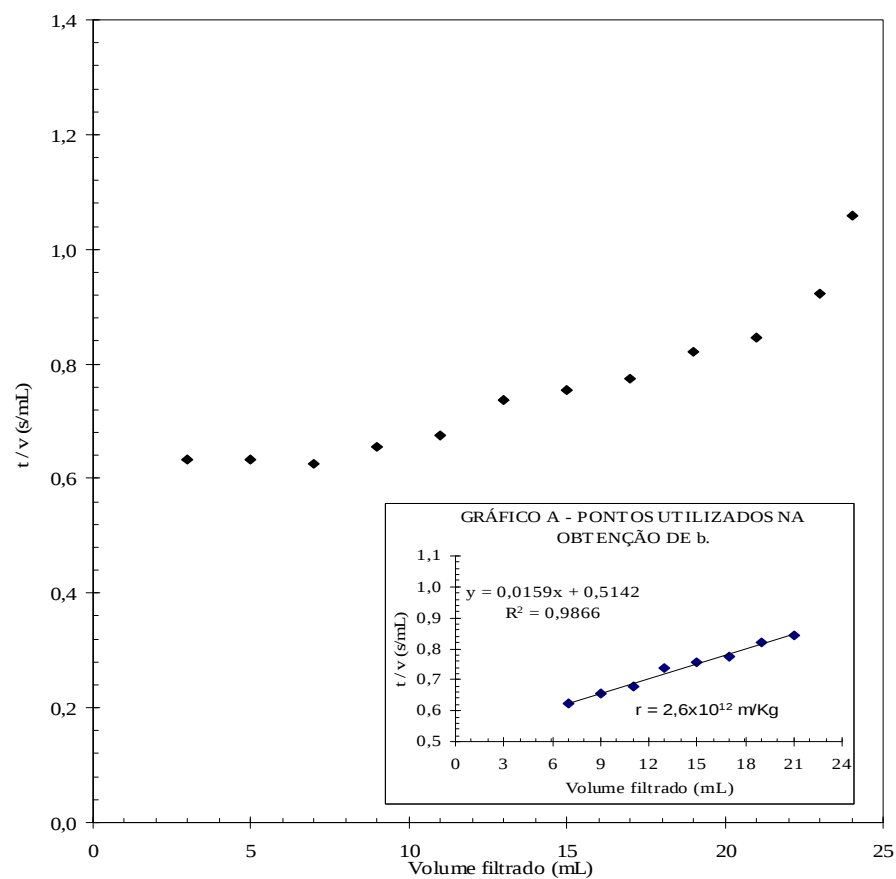
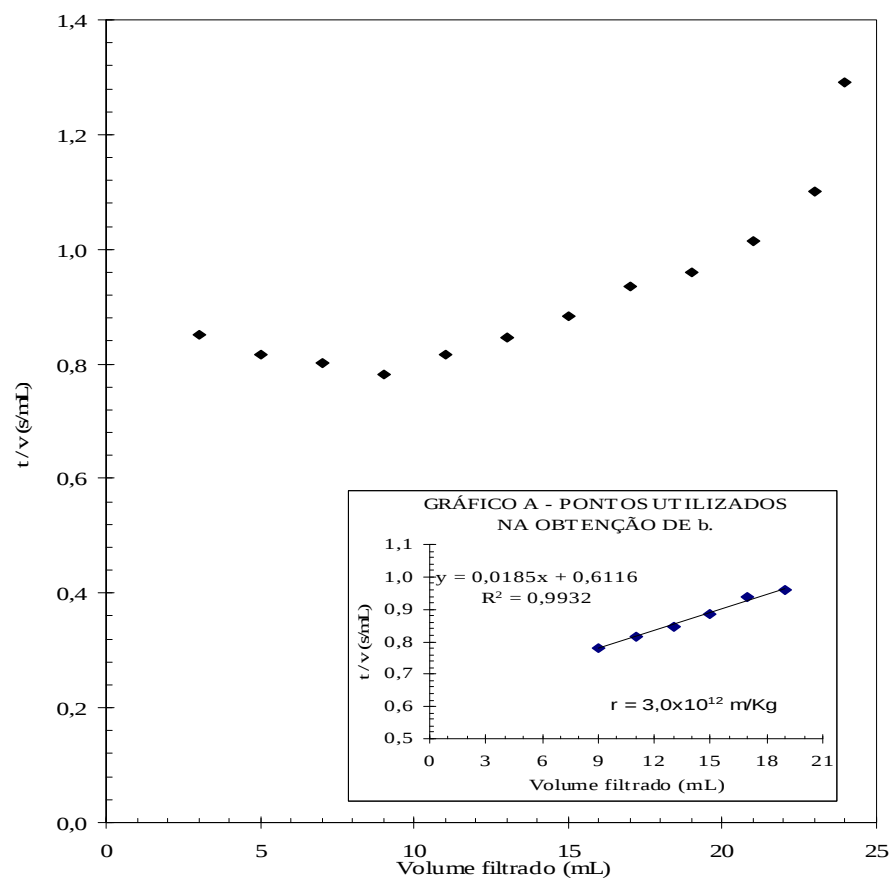


Figura A. 8. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 5.420 mg/L aplicada na série de ensaios 3 – Turbidez = 218 UNT.

Obs.: teste 1 (esquerda) e teste 2 (direita)

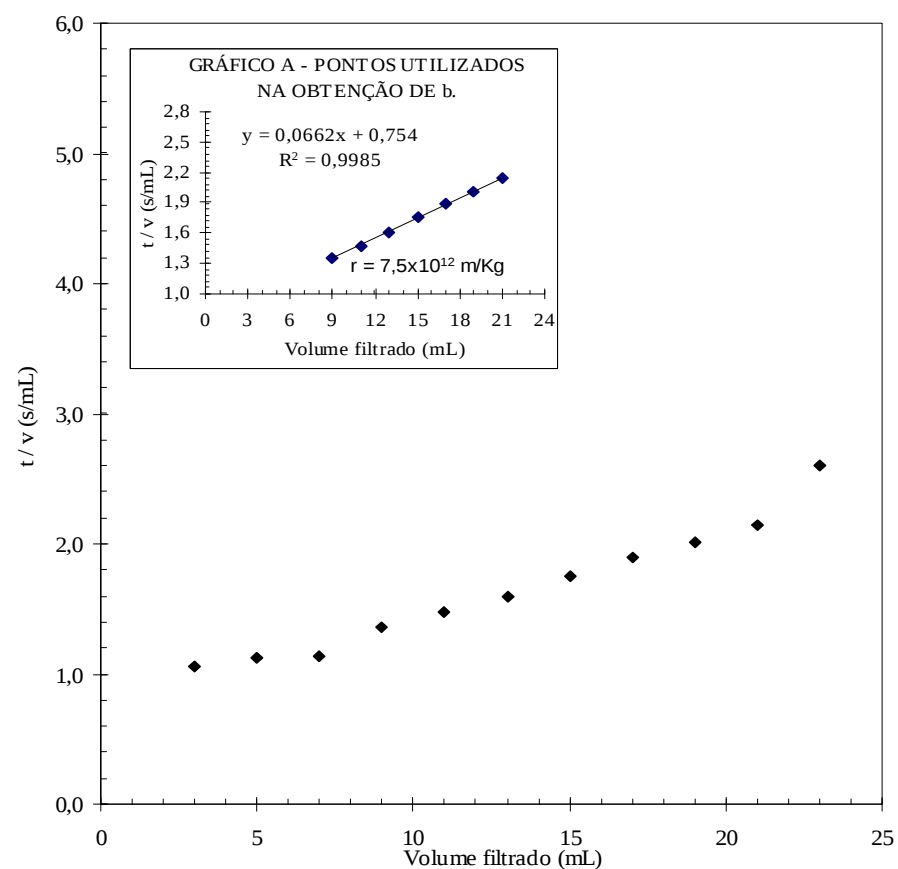
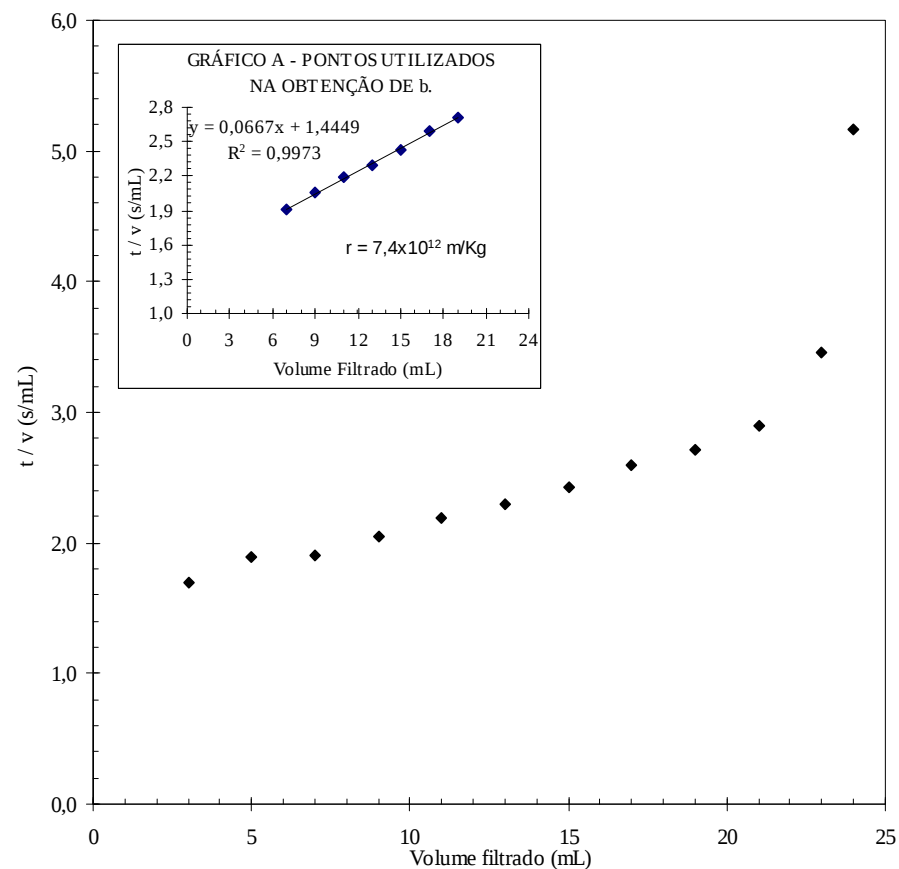


Figura A. 9. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 8.556 mg/L aplicada na série de ensaios 3 – Turbidez = 218 UNT.

Obs.: teste 1 (esquerda) e teste 2 (direita)

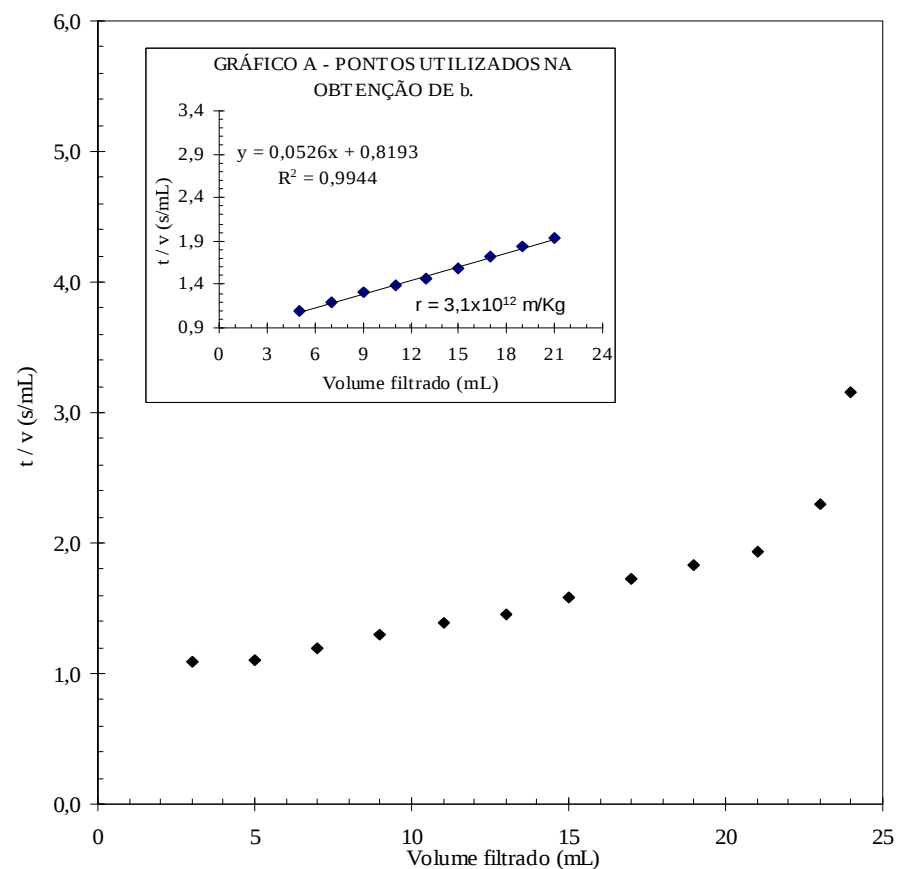
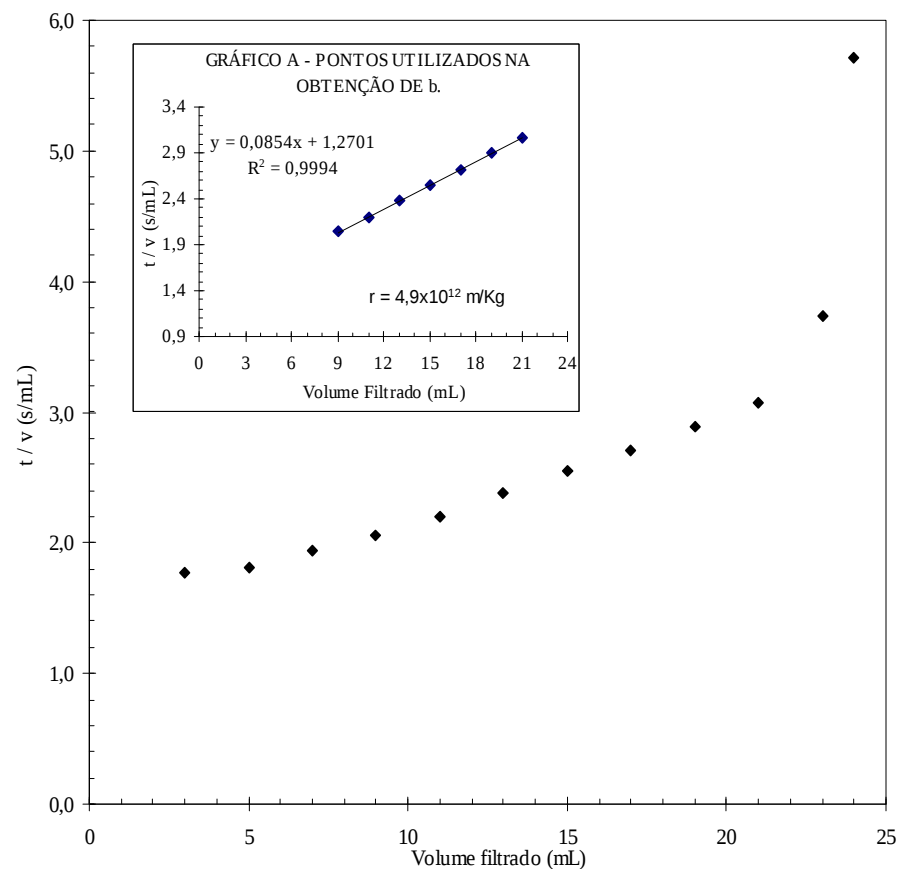


Figura A. 10. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 12.670 mg/L aplicada na série de ensaios 3 – Turbidez = 218 UNT.
Obs.: teste 1 (esquerda) e teste 2 (direita)

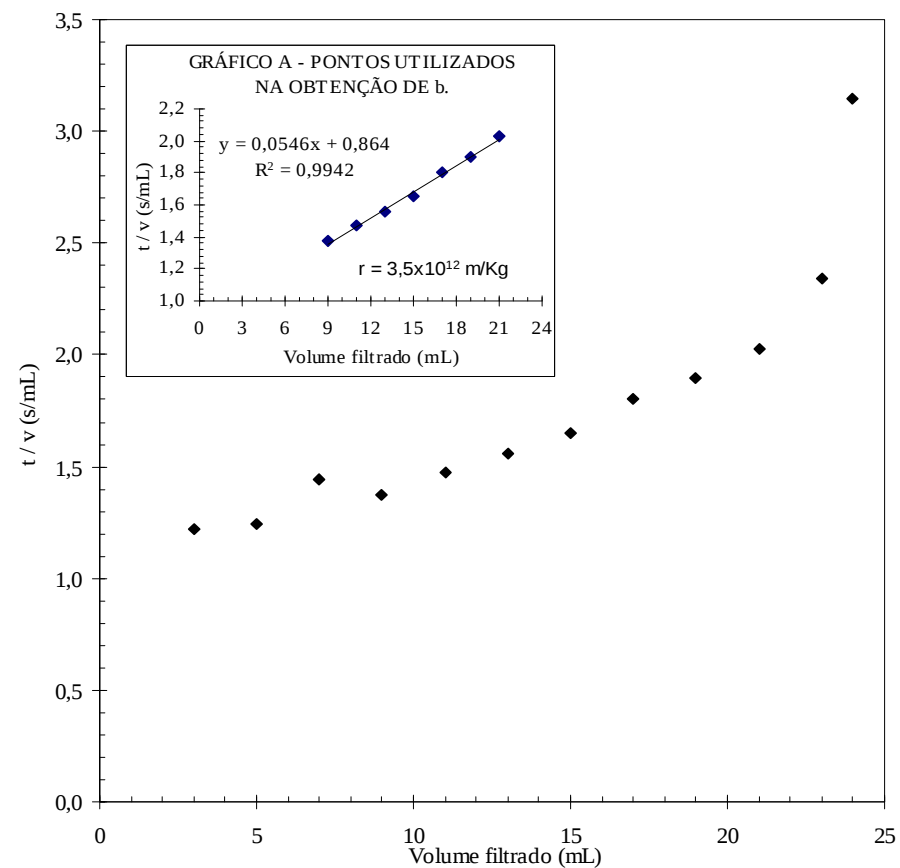


Figura A. 11. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica, da amostra do resíduo com SST igual a 14.300 mg/L aplicada na série de ensaios 3 – Turbidez = 218 UNT.

Obs.: teste 1 (esquerda) e teste 2 (direita)

Tabela A. 3. Volume de sólidos do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio de centrifugação, utilizando a amostra do resíduo com SST = 3.642 mg/L aplicada na série de ensaios 2.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)								
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0
	V (mL)								
0,0	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
3,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
4,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
5,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
6,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Tabela A. 4. Teor de SST_r e turbidez do sobrenadante em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio de centrifugação, utilizando a amostra do resíduo com SST = 3.642 mg/L aplicada na série de ensaios 2.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)									Turbidez (UNT)
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0	
	SST _r (x10 ³ mg/L)									
0,0	121	182	182	182	182	182	182	182	182	5,7
2,0	182	182	182	182	182	182	182	182	182	1,0
3,0	182	182	182	182	182	182	182	182	182	1,5
4,0	182	182	182	182	182	182	182	182	182	0,8
5,0	182	182	182	182	182	182	182	182	182	1,4
6,0	182	182	182	182	182	182	182	182	182	1,3

Tabela A. 5. Volume de sólidos do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio de centrifugação, utilizando a amostra do resíduo com SST = 7.500 mg/L aplicada na série de ensaios 2.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)									
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0	
	V (mL)									
0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
2,0	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
3,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	
4,0	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
5,0	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
6,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3

Tabela A. 6. Teor de SST_r e turbidez do sobrenadante em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio de centrifugação, utilizando a amostra do resíduo com SST = 7.500 mg/L aplicada na série de ensaios 2.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)									Turbidez (UNT)
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0	
	SST _r (x10 ³ mg/L)									
0,0	188	188	188	188	250	250	250	250	250	1,5
2,0	150	150	188	188	188	188	188	188	188	1,8
3,0	150	150	150	150	150	188	188	188	188	0,9
4,0	150	150	150	188	188	188	188	188	188	1,4
5,0	150	150	188	188	188	188	188	188	188	1,2
6,0	188	188	188	188	188	188	188	250	250	1,0

Tabela A. 7. Volume de sólidos do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio de centrifugação, utilizando a amostra do resíduo com SST = 2.678 mg/L aplicada na série de ensaios 3.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)								
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0
	V (mL)								
0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
3,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
4,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
5,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
6,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Tabela A. 8. Teor de SST_r e turbidez do sobrenadante em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio de centrifugação, utilizando a amostra do resíduo com SST = 2.678 mg/L aplicada na série de ensaios 3.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)									Turbidez (UNT)
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0	
	SST _r (10 ³ mg/L)									
0,0	134	134	134	134	134	134	134	134	134	2,6
2,0	134	134	134	134	134	134	134	134	134	0,6
3,0	134	134	134	134	134	134	134	134	134	0,5
4,0	134	134	134	134	134	134	134	134	134	0,6
5,0	134	134	134	134	134	134	134	134	134	0,6
6,0	134	134	134	134	134	134	134	134	134	0,8

Tabela A. 9. Volume de sólidos do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio de centrifugação, utilizando a amostra do resíduo com SST = 8.556 mg/L aplicada na série de ensaios 3.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)								
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0
	V (mL)								
0,0	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
2,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
3,0	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
4,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
5,0	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
6,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Tabela A. 10. Teor de SST_r e turbidez do sobrenadante em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio de centrifugação, utilizando a amostra do resíduo com SST = 8.556 mg/L aplicada na série de ensaios 3.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)									Turbidez (UNT)
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0	
	SST _r (10 ³ mg/L)									
0,0	214	214	285,2	285	285	285	285	285	285	1,3
2,0	214	214	214	214	214	214	285	285	285	0,8
3,0	214	285	285	285	285	285	285	285	285	0,8
4,0	214	214	214	214	214	285	285	285	285	0,6
5,0	214	285	285	285	285	285	285	285	285	0,7
6,0	285	285	285	285	285	285	285	285	285	0,7

ANEXO B

As Tabelas B.1 a B.3, no anexo B, apresentam os relatórios dos ensaios de Jar Test realizados na série 1. Nas Tabelas B.4 a B.9 estão apresentados os relatórios dos ensaios da série 2; e finalmente, nas Tabelas B.10 a B.14 estão apresentados os relatórios dos ensaios da série 3.

Tabela B. 1. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 1.635 mg/L, série de ensaios 1 – turbidez = 21 UNT.

Resíduo com SST 1.635 mg/L, série de ensaios 1 - Turbidez - 21 UNT.								
Água ensaiada								
Parâmetros				Resultados				
Turbidez (UNT)				22,5				
Cor aparente (PtCo)				242,4				
Ensaio de Jar Test								
Coagulante		Resíduo de ETA		Sobrenadante				Material sedimentado (mL/L)
				Valores médios remanescentes		Remoção média (%)		
% da dosagem	mg/L	V (mL)	SST (mg/L)	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Cor	Turbidez	
30	4,8	40	1.635	178,2	11,8	29,8	49,0	3,1
40	6,4	40	1.635	123,8	8,8	51,2	61,7	4,1
45	7,2	40	1.635	72,3	5,0	67,1	78,9	-
50	8,0	40	1.635	104,3	6,3	57,1	72,8	5,0
55	8,8	40	1.635	85,3	7,8	61,2	66,6	-
60	9,6	40	1.635	103,3	6,7	56,6	69,9	6,0
70	11,2	40	1.635	122,8	8,3	49,3	61,9	7,0
80	12,8	40	1.635	125,7	8,5	48,0	61,0	7,8
90	14,4	40	1.635	144,7	11,0	40,3	49,5	9,0
100	16,0	40	1.635	136,6	9,5	43,6	56,5	9,4
100	16,0	-	-	89,6	6,1	60,1	72,3	7,1

Tabela B. 2. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 3.443 mg/L, série de ensaios 1 – turbidez = 21 UNT.

Água ensaiada								
Parâmetros				Resultados				
Turbidez (UNT)				21,9				
Cor aparente (PtCo)				192,6				
Ensaio de Jar Test								
Coagulante		Resíduo de ETA	Sobrenadante					Material sedimentado (mL/L)
			Valores médios remanescentes		Remoção média (%)			
% da dosagem	mg/L	V (mL)	SST (mg/L)	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Cor	Turbidez	
40	6,4	40	3.443	92,9	8,6	51,6	60,6	7,7
45	7,2	40	3.443	73,8	6,8	61,7	67,9	8,3
50	8,0	40	3.443	72,0	6,2	62,5	71,9	8,5
55	8,8	40	3.443	90,5	9,6	53,0	55,1	9,1
60	9,6	40	3.443	91,2	9,7	52,5	56,0	9,5
75	12,0	40	3.443	117,8	13,2	38,6	40,1	10,0
90	14,4	40	3.443	135,2	15,0	29,7	31,8	11,5
100	16,0	-	-	89,6	6,1	60,1	72,3	7,1

Tabela B. 3. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 4.306 mg/L, série de ensaio 1 – Turbidez = 21 UNT.

Água ensaiada								
Parâmetros				Resultados				
Turbidez (UNT)				18,5				
Cor aparente (PtCo)				149,8				
Ensaio de Jar Test								
Coagulante		Resíduo de ETA		Sobrenadante				Material sedimentado (mL/L)
				Valores médios remanescentes		Remoção média (%)		
% da dosagem	mg/L	V (mL)	SST (mg/L)	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Cor	Turbidez	
50	8,0	40	4.306	124,7	13,1	18,8	27,2	13,5
55	8,8	40	4.306	110,7	11,4	27,9	36,7	14,8
60	9,6	40	4.306	107,1	11,7	27,6	37,1	14,7
65	10,4	40	4.306	92,5	10,8	34,9	45,0	14,3
70	11,2	40	4.306	136,2	15,4	4,1	21,6	16,0
75	12,0	40	4.306	147,4	17,2	1,3	6,6	17,0
90	14,4	40	4.306	177,5	20,4	-15,7	-13,7	19,0
100	16,0	-	-	89,6	6,1	60,1	72,3	7,1

Tabela B. 4. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 2.615 mg/L, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.

Água ensaiada								
Parâmetros				Resultados				
Turbidez (UNT)				95,8				
Cor aparente (PtCo)				1.016,7				
Ensaio de Jar Test								
Coagulante		Resíduo de ETA		Sobrenadante				Material sedimentado (mL/L)
				Valores médios remanescentes		Remoção média (%)		
% da dosagem	mg/L	V (mL)	SST (mg/L)	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Cor	Turbidez	
30	8,4	40	2.615	77,3	8,9	81,7	83,5	4,0
40	11,2	40	2.615	90,2	9,9	90,7	89,5	7,5
45	12,6	40	2.615	83,7	9,6	91,3	89,9	7,0
50	14,0	40	2.615	77,7	10,4	92,5	89,3	8,5
55	15,4	40	2.615	56,2	6,9	94,6	92,9	9,8
60	16,8	40	2.615	78,7	10,4	92,4	89,2	10,3
75	21,0	40	2.615	59,5	8,6	94,3	91,1	11,3
90	25,2	40	2.615	96,8	14,2	90,7	85,3	13,0
100	28,0	-	-	85,3	10,7	91,8	89,1	13,7

Tabela B. 5. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 3.642 mg/L, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.

Água ensaiada								
Parâmetros						Resultados		
Turbidez (UNT)						100,9		
Cor aparente (PtCo)						1.141,1		
Ensaio de Jar Test								
Coagulante		Resíduo de ETA		Sobrenadante				Material sedimentado (mL/L)
				Valores médios remanescentes		Remoção média (%)		
% da dosagem	mg/L	V (mL)	SST (mg/L)	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Cor	Turbidez	
45	12,6	40	3.642	118,3	13,5	88,5	86,0	7,5
50	14,0	40	3.642	110,7	15,5	90,1	84,7	9,0
55	15,4	40	3.642	99,0	13,0	91,2	87,0	9,8
60	16,8	40	3.642	110,0	14,5	91,7	88,7	10,0
75	21,0	40	3.642	94,2	9,3	91,7	90,8	12,0
90	25,2	40	3.642	83,3	12,3	92,8	88,2	14,3
100	28,0	-	-	85,3	10,7	91,8	89,1	13,7

Tabela B. 6. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 4.664 mg/L, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.

Água ensaiada								
Parâmetros				Resultados				
Turbidez (UNT)				97,0				
Cor aparente (PtCo)				1.160,0				
Ensaio de Jar Test								
Coagulante		Resíduo de ETA		Sobrenadante				Material sedimentado (mL/L)
				Valores médios remanescentes		Remoção média (%)		
% da dosagem	mg/L	V (mL)	SST (mg/L)	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Cor	Turbidez	
50	14,0	40	4.664	90,7	11,7	92,3	89,8	9,0
55	15,4	40	4.664	69,3	9,7	92,0	87,3	10,5
60	16,8	40	4.664	120,0	16,2	89,7	83,3	10,5
75	21,0	40	4.664	92,3	12,3	94,0	90,0	12,5
90	25,2	40	4.664	89,7	9,9	92,2	87,9	13,5
100	28,0	-	-	85,3	10,7	91,8	89,1	13,7

Tabela B. 7. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 7.500 mg/L, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.

Água ensaiada								
Parâmetros				Resultados				
Turbidez (UNT)				91,8				
Cor aparente (PtCo)				903,3				
Ensaio de Jar Test								
Coagulante		Resíduo de ETA		Sobrenadante				Material sedimentado (mL/L)
				Valores médios remanescentes		Remoção média (%)		
% da dosagem	mg/L	V (mL)	SST (mg/L)	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Cor	Turbidez	
45	12,6	40	7.500	82,9	10,4	90,9	88,7	9,3
50	14,0	40	7.500	86,2	9,2	90,3	89,9	9,6
55	15,4	40	7.500	80,4	10,9	91,1	88,2	10,7
60	16,8	40	7.500	91,0	12,9	89,9	85,9	11,8
75	21,0	40	7.500	126,8	14,2	85,8	84,3	12,3
90	25,2	40	7.500	91,8	11,6	89,7	87,2	13,3
100	28,0	-	-	85,3	10,7	91,8	89,1	13,7

Tabela B. 8. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 8.573 mg/L, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.

Água ensaiada								
Parâmetros				Resultados				
Turbidez (UNT)				94,5				
Cor aparente (PtCo)				958,3				
Ensaio de Jar Test								
Coagulante		Resíduo de ETA		Sobrenadante				Material sedimentado (mL/L)
				Valores médios remanescentes		Remoção média (%)		
% da dosagem	mg/L	V (mL)	SST (mg/L)	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Cor	Turbidez	
45	12,6	40	8.573	105,1	13,0	84,9	86,3	10,0
50	14,0	40	8.573	84,2	10,9	89,2	88,4	10,9
55	15,4	40	8.573	95,2	13,1	87,9	86,1	11,7
60	16,8	40	8.573	136,7	19,4	80,5	79,5	12,0
75	21,0	40	8.573	125,1	17,6	82,7	81,5	13,8
90	25,2	40	8.573	98,0	13,4	87,1	85,8	15,0
100	28,0	-	-	85,3	10,7	91,8	89,1	13,7

Tabela B. 9. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 9.670 mg/L, série de ensaio 2 – Turbidez = 95 UNT.

Água ensaiada								
Parâmetros				Resultados				
Turbidez (UNT)				89,3				
Cor aparente (PtCo)				1.118,3				
Ensaio de Jar Test								
Coagulante		Resíduo de ETA		Sobrenadante				Material sedimentado (mL/L)
				Valores médios remanescentes		Remoção média (%)		
% da dosagem	mg/L	V (mL)	SST (mg/L)	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Cor	Turbidez	
45	12,6	40	9.670	121,0	14,5	89,0	83,8	9,5
50	14,0	40	9.670	104,8	13,1	90,5	85,3	12,0
55	15,4	40	9.670	116,0	16,6	89,4	81,4	11,6
60	16,8	40	9.670	138,0	18,5	91,5	83,8	11,5
75	21,0	40	9.670	116,0	15,5	89,7	82,7	13,5
90	25,2	40	9.670	126,7	17,6	88,7	80,3	15,3
100	28,0	-	-	85,3	10,7	91,8	89,1	13,7

Tabela B. 10. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 2.678 mg/L, série de ensaio 3 – Turbidez = 218 UNT.

Água ensaiada								
Parâmetros				Resultados				
Turbidez (UNT)				232,9				
Cor aparente (PtCo)				1.548,3				
Ensaio de Jar Test								
Coagulante		Resíduo de ETA		Sobrenadante				Material sedimentado (mL/L)
				Valores médios remanescentes		Remoção média (%)		
% da dosagem	mg/L	V (mL)	SST (mg/L)	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Cor	Turbidez	
35	12,3	40	2.678	83,8	9,8	94,7	95,7	8,6
40	14,0	40	2.678	64,5	8,8	95,9	96,1	9,1
45	15,8	40	2.678	49,8	7,4	96,9	96,7	9,8
50	17,5	40	2.678	58,8	8,5	96,1	96,4	10,5
55	19,3	40	2.678	53,0	8,7	96,5	96,3	12,3
60	21,0	40	2.678	57,5	7,9	96,3	96,7	12,3
75	26,3	40	2.678	55,2	8,0	96,4	96,6	15,5
90	31,5	40	2.678	48,3	7,7	96,9	96,8	18,3
100	35,0	-	-	62,8	9,4	95,9	95,7	16,5

Tabela B. 11. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 5.420 mg/L, série de ensaio 3 – Turbidez = 218 UNT.

Água ensaiada								
Parâmetros				Resultados				
Turbidez (UNT)				204,4				
Cor aparente (PtCo)				1.640,4				
Ensaio de Jar Test								
Coagulante		Resíduo de ETA		Sobrenadante				Material sedimentado (mL/L)
				Valores médios remanescentes		Remoção média (%)		
% da dosagem	mg/L	V (mL)	SST (mg/L)	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Cor	Turbidez	
50	17,5	40	5.420	117,0	18,0	92,7	91,2	14,4
55	19,3	40	5.420	123,7	19,4	92,3	90,5	14,8
60	21,0	40	5.420	94,1	14,4	94,2	93,0	16,0
75	26,3	40	5.420	111,8	16,4	92,9	92,1	17,3
90	31,5	40	5.420	85,0	8,9	94,8	95,7	21,0
100	35,0	-	-	62,8	9,4	95,9	95,7	16,5

Tabela B. 12. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 8.556 mg/L, série de ensaio 3 – Turbidez = 218 UNT.

Água ensaiada								
Parâmetros				Resultados				
Turbidez (UNT)				221,1				
Cor aparente (PtCo)				1.496,7				
Ensaio de Jar Test								
Coagulante		Resíduo de ETA		Sobrenadante				Material sedimentado (mL/L)
				Valores médios remanescentes		Remoção média (%)		
% da dosagem	mg/L	V (mL)	SST (mg/L)	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Cor	Turbidez	
45	15,8	40	8.556	77,7	10,4	95,0	95,6	17,0
50	17,5	40	8.556	75,2	10,8	95,0	95,0	17,5
55	19,3	40	8.556	61,0	9,1	95,9	95,7	19,0
60	21,0	40	8.556	63,7	10,5	95,7	95,2	20,5
75	26,3	40	8.556	84,3	10,8	94,4	95,1	22,3
90	31,5	40	8.556	69,0	9,7	95,4	95,6	25,0
100	35,0	-	-	62,8	9,4	95,9	95,7	16,5

Tabela B. 13. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 12.670 mg/L, série de ensaio 3 – Turbidez = 218 UNT.

Água ensaiada								
Parâmetros				Resultados				
Turbidez (UNT)				213,0				
Cor aparente (PtCo)				1.465,8				
Ensaio de Jar Test								
Coagulante		Resíduo de ETA	Sobrenadante					Material sedimentado (mL/L)
			Valores médios remanescentes		Remoção média (%)			
% da dosagem	mg/L	V (mL)	SST (mg/L)	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Cor	Turbidez	
45	15,8	40	12.670	143,8	20,3	89,3	89,6	16,8
50	17,5	40	12.670	128,8	18,4	90,4	90,7	16,3
55	19,3	40	12.670	114,2	17,9	91,5	91,0	17,5
60	21,0	40	12.670	114,3	16,1	93,2	93,4	21,5
75	26,3	40	12.670	109,8	17,3	92,7	92,0	22,7
90	31,5	40	12.670	133,8	20,1	90,0	89,7	22,7
100	35,0	-	-	62,8	9,4	95,9	95,7	16,5

Tabela B. 14. Relatório dos ensaios de Jar Test (média dos resultados), aplicando a amostra do resíduo com SST = 14.300 mg/L, série de ensaio 3 – Turbidez = 218 UNT.

Água ensaiada								
Parâmetros				Resultados				
Turbidez (UNT)				220,3				
Cor aparente (PtCo)				1.425,3				
Ensaio de Jar Test								
Coagulante		Resíduo de ETA	Sobrenadante					Material sedimentado (mL/L)
			Valores médios remanescentes		Remoção média (%)			
% da dosagem	mg/L	V (mL)	SST (mg/L)	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Cor	Turbidez	
45	15,8	40	14.300	164,2	23,8	87,7	89,1	19,3
50	17,5	40	14.300	143,0	20,1	89,3	90,8	20,0
55	19,3	40	14.300	154,9	21,5	88,6	90,3	20,8
60	21,0	40	14.300	143,2	20,0	91,8	92,9	23,5
75	26,3	40	14.300	138,3	19,9	91,6	92,5	24,8
90	31,5	40	14.300	118,2	15,8	91,3	92,3	26,2
100	35,0	-	-	62,8	9,4	95,9	95,7	16,5

ANEXO C

No Anexo C estão contidos os resultados obtidos na caracterização do material sedimentado após a realização dos ensaios de Jar Test, quanto a resistência específica e a desidratabilidade por centrifugação.

A Tabela C.1 apresenta o volume filtrado em função do tempo de filtração utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado gerado após a realização dos ensaios de Jar Test, nos melhores resultados das séries 2 e 3. As Figuras C.1 a C.8 apresentam a relação “ t/v ” em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica dos materiais sedimentados na série de ensaios 2 e 3.

As Tabelas C.2 a C.4 apresentam o volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no teste, utilizando as amostras de resíduo aplicadas na série 2.

As Tabelas C.5 a C.9 apresentam o volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no teste, utilizando as amostras de resíduo aplicadas na série de ensaios 3.

Tabela C. 1. Volume filtrado em função do tempo de filtração dos materiais sedimentados gerados após a realização dos ensaios de Jar Test na série de ensaios 2 e 3, sem e com a aplicação do resíduo da ETA

	Série de ensaios 2 - Turbidez = 95 UNT			Série de ensaios 3 - Turbidez = 218 UNT				
SST do resíduo aplicado (mg/L)	-	3.645	7.500	-	2.678	2.678	8.556	8.556
Coagulante (% da dosagem da ETA)	100	75	50	100	35	40	45	55
SST do material sedimentado (mg/L)	6.329	9.657	11.743	9.460	12.540	12.540	18.970	16.630
Massa de sólidos na torta (g/25 mL)	0,168	0,254	0,312	0,225	0,294	0,314	0,478	0,437
Volume filtrado (mL)	Tempo de filtração (s)							
3	1,03	-	1,71	1,53	2,75	2,65	4,38	-
5	2,34	4,36	2,83	2,04	5,5	5,61	10,5	3,77
7	4,68	7,69	5,44	2,75	8,77	8,97	16,21	6,42
9	6,93	10,3	9,04	4,28	12,13	13,56	34,17	10,3
11	10,53	14,8	13,36	6,12	17,23	17,54	45,49	15,4
13	13,81	20,43	17,77	8,56	22,95	23,15	57,32	27,13
15	17,59	26,68	23,44	10,6	28,56	29,47	71,09	34,47
17	22,00	33,43	29,92	13,15	35,08	36	86,08	42,84
19	26,41	40,50	36,63	15,91	41,92	43,45	105,16	52,53
21	31,36	50,31	43,15	19,48	49,57	52	160,95	63,44
23	38,38	60,66	53,14	25,09	60,01	63,34	267,24	91,49
24	50,89	96,93	86,26	53,41	99,3	83,53	4,38	150,55
Resistência específica ($\times 10^{12}$ m/Kg)	8,3	9,4	6,8	3,8	6,3	6,1	9,0	6,1

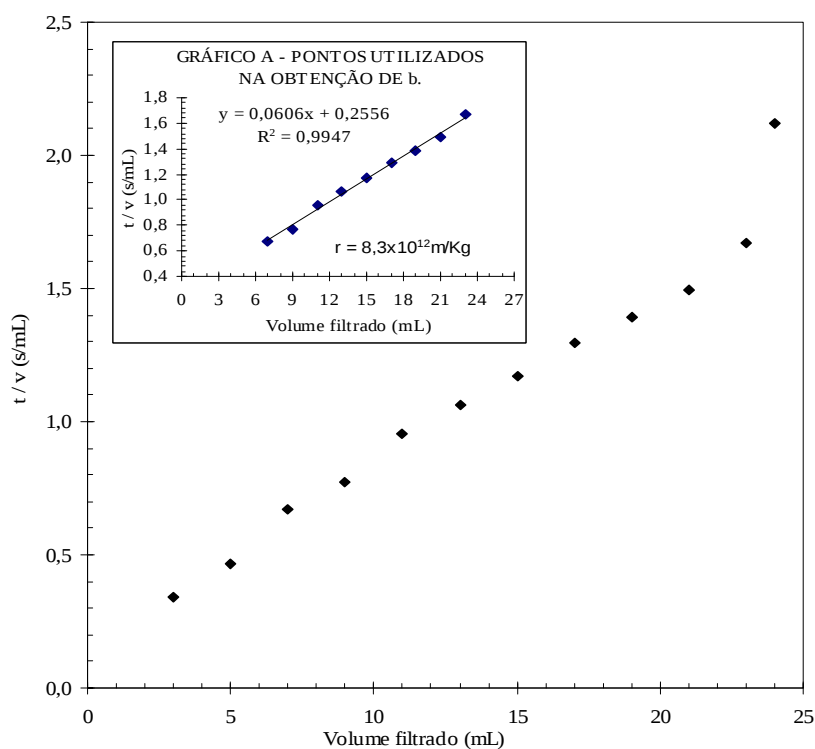


Figura C. 1. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test (série 2) que empregou 100% da dosagem de coagulante usada na ETA e não recebeu resíduo da ETA.

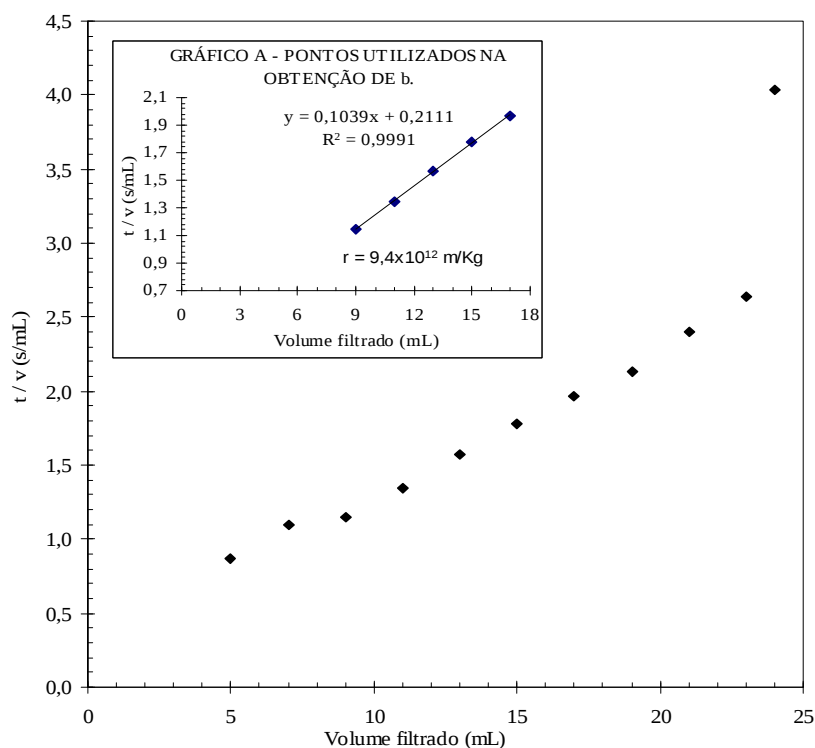


Figura C. 2. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test (série 2) que empregou 75% da dosagem de coagulante usada na ETA e recebeu resíduo da ETA com SST igual a 3.654 mg/L.

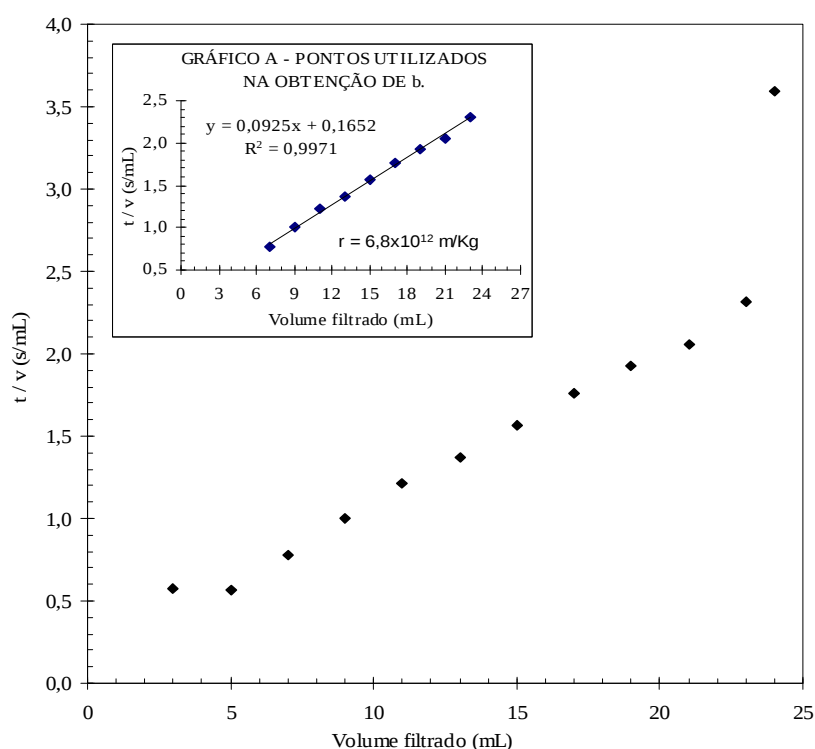


Figura C. 3. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test (série 2) que empregou 50% da dosagem de coagulante usada na ETA e recebeu resíduo da ETA com SST igual a 7.500 mg/L.

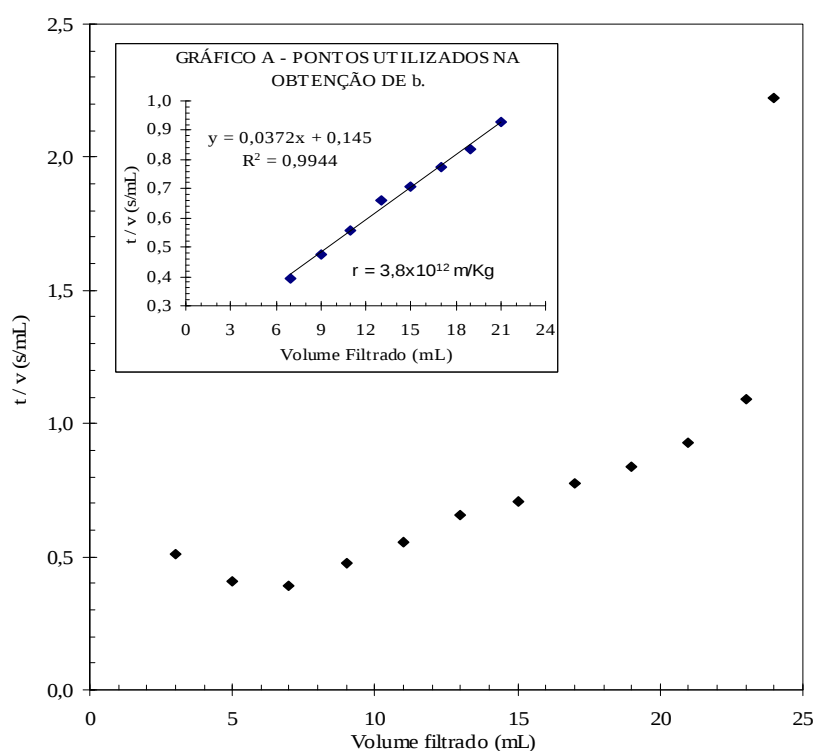


Figura C. 4. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test (série 3) que empregou 100% da dosagem de coagulante usada na ETA e que não recebeu resíduo da ETA.

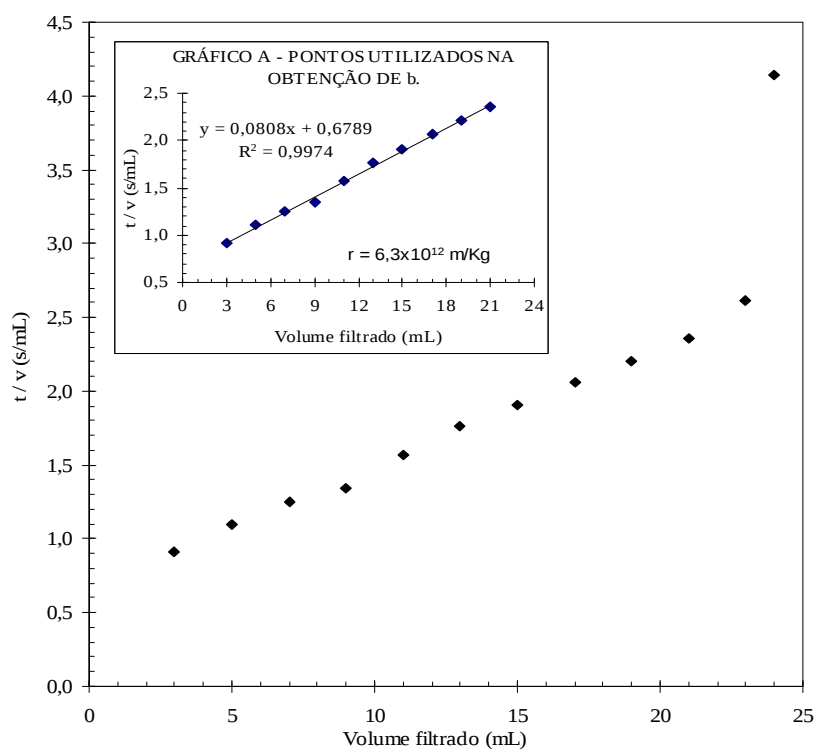


Figura C. 5. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test (série 3), que empregou 35% da dosagem de coagulante usada na ETA e recebeu resíduo da ETA com SST igual a 2.678 mg/L.

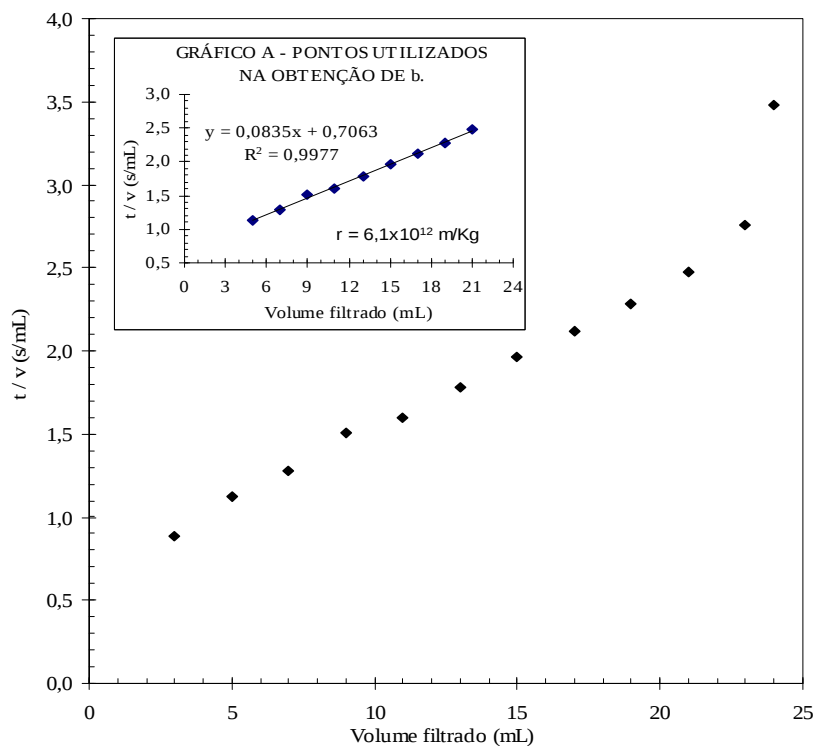


Figura C. 6. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test (série 3), que empregou 40% da dosagem de coagulante usada na ETA e recebeu resíduo da ETA com SST igual a 2.678 mg/L.

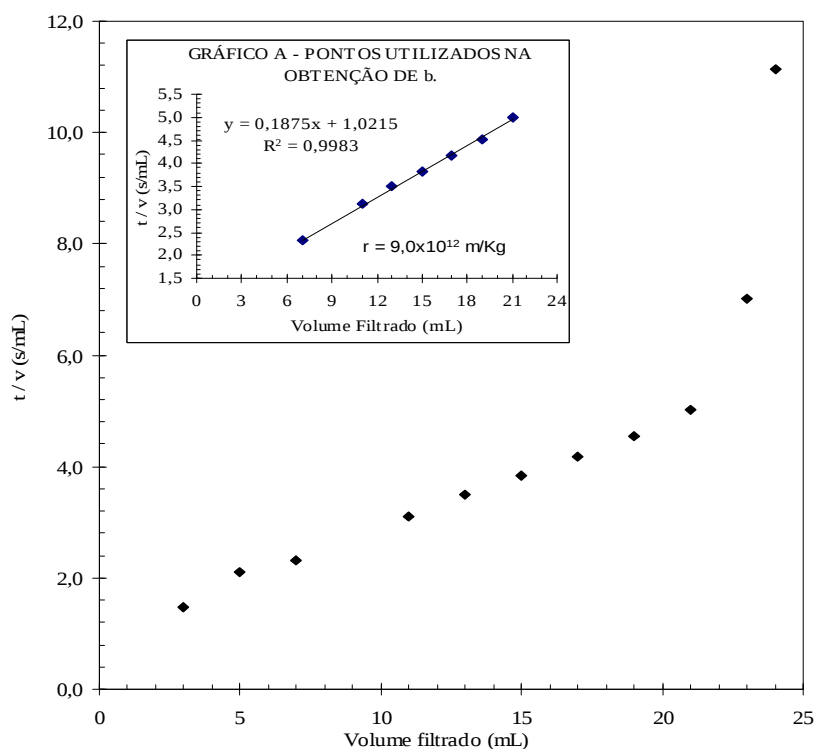


Figura C. 7. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test (série 3), que empregou 45% da dosagem de coagulante usada na ETA e recebeu resíduo da ETA com SST igual a 8.556 mg/L.

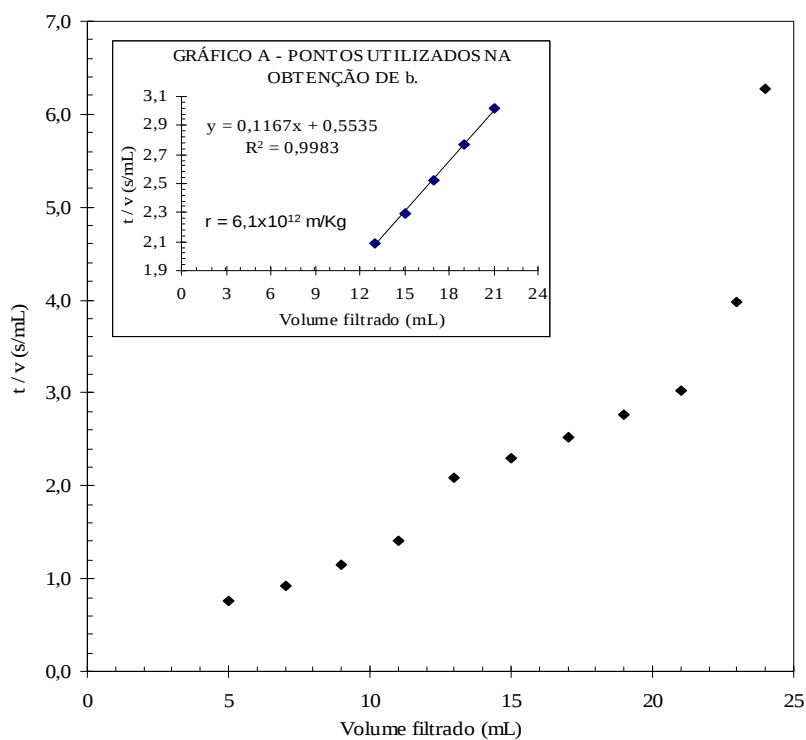


Figura C. 8. Relação t/v em função do volume filtrado, utilizado no cálculo da resistência específica do material sedimentado após realização do ensaio de Jar Test (série 3), que empregou 55% da dosagem de coagulante usada na ETA e recebeu resíduo da ETA com SST igual a 8.556 mg/L.

Tabela C. 2. Volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no teste, utilizando o material sedimentado que recebeu 100% da dosagem de coagulante usada na ETA e não recebeu resíduo da ETA - série 2.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)								
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0
	V (mL)								
0,0	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
3,0	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
4,0	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
5,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
6,0	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Tabela C. 3. Volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 75% da dosagem de coagulante usada na ETA e resíduo da ETA com SST igual a 3.645 mg/L - série 2.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)								
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0
	V (mL)								
0,0	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
2,0	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
3,0	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
4,0	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
5,0	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
6,0	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Tabela C. 4. Volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 50% da dosagem de coagulante usada na ETA e resíduo da ETA com SST igual a 7.500 mg/L - série 2.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)								
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0
	V (mL)								
0,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
2,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
3,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
4,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
5,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
6,0	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Tabela C. 5. Volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 100% da dosagem de coagulante usada na ETA e não recebeu resíduo da ETA - série 3.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)								
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0
	V (mL)								
0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
2,0	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
3,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
4,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
5,0	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
6,0	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Tabela C. 6. Volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 35% da dosagem de coagulante usada na ETA e resíduo da ETA com SST igual a 2.678 mg/L - série 3.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)								
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0
	V (mL)								
0,0	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
2,0	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
3,0	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
4,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
5,0	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
6,0	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Tabela C. 7. Volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 40% da dosagem de coagulante usada na ETA e resíduo da ETA com SST igual a 2.678 mg/L - série 3.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)								
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0
	V (mL)								
0,0	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
2,0	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
3,0	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
4,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
5,0	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
6,0	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Tabela C. 8. Volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 45% da dosagem de coagulante usada na ETA e resíduo da ETA com SST igual a 8.556 mg/L - série 3.

Concentração de polieletrólito (g poli/kg SST)	Tempo de centrifugação (min)								
	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	45,0	60,0
	V (mL)								
0,0	1,0	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6
2,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
3,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
4,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
5,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
6,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Tabela C. 9. Volume do centrifugado em função do tempo de centrifugação para as diferentes concentrações de polieletrólito empregadas no ensaio, utilizando o material sedimentado que recebeu 55% da dosagem de coagulante usada na ETA e resíduo da ETA com SST igual a 8.556 mg/L - série 3.

[illegible]