CLÁUDIA FIGUEIREDO GARRIDO CABANELLAS

TRATAMENTO DA ÁGUA SOB RECIRCULAÇÃO, EM ESCALA LABORATORIAL, NA DESPOLPA DOS FRUTOS DO CAFEEIRO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de pósgraduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do titulo de "Magister Scientiae".

VIÇOSA MINAS GERAIS – BRASIL 2004

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

Cabanellas, Cláudia Figueiredo Garrido, 1973-

C112t 2004

Tratamento da água sob recirculação em escala laboratorial, na despolpa dos frutos do cafeeiro / Cláudia Figueire-do Garrido Cabanellas. — Viçosa: UFV, 2004.

xx, 103f.: il.; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Antonio Teixeira de Matos Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de

Viçosa

Referências bibliográficas: f. 88-96

1. Águas residuais - Purificação. 2. Resíduos agrícolas. 3. Café - Beneficiamento. 4. Café - Indústria. I. Universidade Federal de Viçosa. II.Título.

CDD 20.ed. 628.3

CLÁUDIA FIGUEIREDO GARRIDO CABANELLAS

TRATAMENTO DA ÁGUA SOB RECIRCULAÇÃO, EM ESCALA LABORATORIAL, NA DESPOLPA DOS FRUTOS DO CAFEEIRO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de pósgraduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do titulo de "Magister Scientiae".

APROVADA: 9 de fevereiro de 2004							
Prof. Cláudio Mudado Silva (Conselheiro)	Prof. Paulo Roberto Cecon (Conselheiro)						
Prof. Cláudio Montenegro Campos	Prof. Juarez de Sousa e Silva						
Prof. Antonio Tei (Orienta							

Dedico este trabalho aos meus pais

Evaristo Garrido da Silva e Tânia Mara Figueiredo Garrido Cabanellas

A minha filha

Vitória Figueiredo Garrido Cabanellas Nogueira

AGRADECIMENTO

A Deus, pela vida e pela minha família, em especial pela minha filha Vitória.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental, pela oportunidade de realizar o programa.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Antonio Teixeira de Matos, pela orientação.

Aos meus conselheiros professores Cláudio Mudado Silva e Paulo Roberto Cecon, pelo interesse, pela participação.

Ao professor Juarez de Sousa e Silva, pelas sugestões e pela participação.

Ao meu namorado Mozart, pelo companheirismo, paciência, sugestões, apoio e carinho.

Ao Sr. Paulo Marcio, Adair e todos os funcionários da Fazenda Laje, pelo auxilio e pela boa vontade.

Aos estudantes da graduação Valdeir Eustáquio Junior e Priscila dos Anjos Pereira, pela ajuda na condução do trabalho e pela amizade.

Aos laboratoristas Simão, Lucimar, Chicão e Silas, pela ajuda, dedicação ao trabalho e amizade.

À todos do Departamento da área de Mecanização Agrícola, pela ajuda e amizade.

À professora Leda Rita D'Antonino Faroni, pela amizade e confiança em minha capacidade.

Ao Roberto Milagres, pela ajuda na condução do trabalho, amizade e paciência.

À toda Família Quirino pela amizade e conforto nas horas difíceis. Minha eterna gratidão.

Às minhas amigas Paola, Viviane, Larissa, D. Irene, Josy, Cristiano, Cris, Micheli, pelo ombro amigo, pelos momentos de descontração.

À todos os colegas de mestrado e aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

CLÁUDIA FIGUEIREDO GARRIDO CABANELLAS, filha de Evaristo Garrido da Silva e Tânia Mara Figueiredo Garrido Cabanellas, nasceu em Belo Horizonte, Minas Gerais, no dia 19 de junho de 1973.

Em 1994 graduou-se em Ciências pela instituição de ensino superiro Fundação Monsenhor Messias, em agosto de 1997 ingressou no curso de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, graduando-se em maio de 2002.

Em abril de 2002, iniciou o Programa de Mestrado em Engenharia Agrícola da UFV, concentrando estudos na área de Recursos Hídricos e Ambientais, submetendo-se à defesa em fevereiro de 2004.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E NOMENCLATURAS	xiv
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xix
1. INTRODUÇÂO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Sistemas de processamento do fruto do cafeeiro	4 4 5
2.2.Resíduos provenientes do processamento do fruto do cafeeiro 2.2.1 Caracterização da água residuária gerada na produção do fruto do cafeeiro lavado e despolpado	6 7
2.3. O Problema Ambiental	9
2.4. Legislação em relação ao consumo e a disposição de águas residuárias	10
2.5 Tratamento da água residuária do fruto do cafeeiro para recirculação	11 11 12 14

	Página
2.5.3.1 Coagulação	15
2.5.3.2. Mecanismos de Coagulação	17
2.5.3.3. Coagulantes	17
2.5.3.3.1 Sulfato de alumínio	18
2.5.3.3.2 Sulfato férrico	19
2.5.3.3 Moringa	20
2.5.4 Tratamento físico com filtro orgânico	23
2.6 Qualidade do grão de café	. 25
2.7 Contaminação fúngica do fruto do cafeeiro	26
3.MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1. Ensaio com coagulante utilizando "Jar-test"	30
3.2. Ensaio com a coluna de sedimentação	31
3.3. Avaliação do sistema de tratamento da água em recirculaç durante a despolpa dos frutos do cafeeiro	
3.4. Avaliação da contaminação fúngica	36
3.5. Avaliação da qualidade da bebida	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1Determinação da concentração e dosagem de coagulantes e do p da água residuária do fruto do cafeeiro em ensaio com o aparell "Jar-test"	ho
4.2 Coluna de sedimentação	. 42
4.3 Análise das características físicas e químicas da água residuár do processamento dos frutos do cafeeiro tratadas e e recirculação	em 51
4.3.1 Avaliação da eficiência do processo físico-químico sistema de tratamento da ARDC	do 60 60 64
4.3.1.4 Turbidez	72.

	Página
4.3.1.5 Condutividade Elétrica	. 73
4.3.1.6 Demanda Química de Oxigênio	. 73
4.3.1.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio	75
4.3.2 Avaliação da eficiência do processo físico de filtração no sistema de tratamento da ARDC	
4.3.2.1 Sólidos Sedimentáveis	. 77
4.3.2.2 Sólidos em Suspensão	77
4.3.2.3 Sólidos Totais	. 78
4.3.2.4 Turbidez	. 79
4.3.2.5 Condutividade Elétrica	. 79
4.3.2.6 Demanda Química de Oxigênio	. 79
4.3.2.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio	. 80
4.3.3 Potencial Hidrogeniônico	80
4.3.4 Concentração de Alumínio e Ferro	. 82
4.3.5 Qualidade de bebida e contaminação fúngica dos grão processados com água em recirculação	
5. RESUMO E CONCLUSÃO	89
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ANEXO	101

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 Resultados das análises químicas e bioquímicas das amostras de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro (MATOS et al., 2003)
- TABELA 2 Caracterização das águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos d cafeeiro conilon (MATOS et al., 2003)
- TABELA 3 Classificação, características e valores numéricos dos resultados de degustação (GARRUTI e CONAGIN, 1961)
- TABELA 4 Análise de variância das concentrações e do pH dos coagulantes no teste "Jar-test"
- TABELA 5 Análise de variância dos sólidos suspensos da ARDC no teste utilizando coluna de sedimentação
- TABELA 6 Equações de regressão ajustadas para a variável sólidos suspensos em função da profundidade e do tempo, para os diferentes coagulantes estudados
- TABELA 7 Valores médios de concentração sólidos supenos (mg L⁻¹) obtidos na coluna de sedimentação em função da profundidade, tempo e do coagulante
- TABELA 8 Caracterização da água em recirculação no processamento dos frutos do cafeeiro arábica, sem adição de coagulantes
- TABELA 9 Caracterização da água em recirculação no processamento dos frutos do cafeeiro arábica, tratadas com o coagulante sulfato de alumínio na concentração de 3g L⁻¹ e pH na faixa de 7 a 8

TABELA 10 – Caracterização da água em recirculação no processamento dos frutos do cafeeiro arábica, tratadas com o coagulante sulfato férrico na concentração de 3g L⁻¹ e pH na faixa de 7 a 8

TABELA 11 – Caracterização da água em recirculação no processamento dos frutos do cafeeiro arábica, tratadas com o coagulante extrato de semente de moringa na dosagem de 10mL L⁻¹ e pH na faixa da ARDC

TABELA 12 – Resumo da análise de variância de sólidos sedimentáveis (SP), condutividade elétrica (CE), sólidos suspensos (SS), sólidos totais (ST), turbidez, DQO, DBO₅ e pH

TABELA 13 – Concentração de sólidos sedimentáveis (SP), obtidos na água de recirculação no processamento de frutos do cafeeiro em função do tipo de coagulante, numero de recirculações e ponto de amostragem

TABELA 14 – Concentrações médias de SP obtidos durante a recirculação da água no processamento de frutos do cafeeiro em função do tipo de coagulante, numero de recirculações e ponto de amostragem

TABELA 15 – Concentrações médias de sólidos em suspensão (SS), obtidos durante a recirculação da água no processamento de frutos do cafeeiro em função do tipo de coagulante, numero de recirculações e ponto de amostragem

TABELA 16 – Concentrações médias de sólidos em suspensão (SS) obtidos durante a recirculação da água no processamento de frutos do cafeeiro em função do tipo de coagulante, numero de recirculações e ponto de amostragem

TABELA 17 – Concentrações médias de sólidos totais (ST), DQO, turbidez e condutividade elétrica (CE), obtidas durante a recirculação da água no processamento de frutos do cafeeiro, em função dos pontos de amostragem

TABELA 18 - Concentrações médias de sólidos totais (ST), DQO e condutividade elétrica (CE), obtidas durante a recirculação da água no processamento de frutos do cafeeiro, em função do número de recirculações

TABELA 19 - Concentrações médias de sólidos totais (ST), obtidas durante a recirculação da água no processamento de frutos do cafeeiro, em função do coagulante

TABELA 20 – Valores médios de turbidez em função do numero de recirculações e do tipo de coagulante adicionado à ARDC

TABELA 21 – Valores médios de DQO em função do numero de recirculações e do tipo de coagulante

TABELA 22 – Valores médios de DBO₅ em função do numero de recirculações e do tipo de coagulante

TABELA 23 – Resumo da análise de variância da contaminação fúngica dos grãos processados com água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro em recirculação

TABELA 24 – Valores médios da contaminação fúngica com e sem esterilização em função do coagulante

TABELA 25 – Valores médios da contaminação fúngica referente ao fungo *A. niger/carbo* (SE2) em função do número de recirculações e do tipo de coagulante.

TABELA 26 – Valores médios da contaminação fúngica referente ao fungo *A. restrictus* (CE3) em função do número de recirculações e do tipo de coagulante.

TABELA 27 – Dados referentes ao Jar-test realizado para cada coagulante nas dosagens de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0;2,5 e 3,0 g L⁻¹ e para o extrato de semente de moringa nas dosagens de 0; 5; 10; 15; 20; 25 e 30 mL L⁻¹ e o pH nas faixas de 4 a 5, 5 a 6, 6 a 7 e 7 a 8

TABELA 28 – Avaliação de qualidade de bebida.

TABELA 29 – Avaliação da contaminação fúngica dos grãos processados com água residuária da lavagem e despolpa do cafeeiro em recirculação.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Solubilidade dos hidróxidos de alumínio e férrico (Amirtharajah e Mills, 1972; citados por PAVANELLI, 2001)
- Figura 2 Coluna de sedimentação em acrílico utilizada para determinação dos sólidos em suspensão em função do tempo.
- Figura 3 Fluxograma do sistema utilizado no tratamento da água residuária da despolpa do fruto do cafeeiro (ARDC).
- Figura 4 Vista parcial do protótipo do sistema utilizado para tratamento da ARDC.
- Figura 5 Planta baixa do sistema de tratamento físico-químico da ARDC.
- Figura 6 Superfície de resposta e equação da estimativa da turbidez em função da concentração e do pH do coagulante cloreto férrico.
- Figura 7 Superfície de resposta e equação da estimativa da turbidez em função da concentração e do pH do coagulante sulfato de alumínio.
- Figura 8 Superfície de resposta e equação da estimativa da turbidez em função da concentração e do pH do coagulante sulfato de férrico.
- Figura 9 Superfície de resposta e equação da estimativa da turbidez em função da concentração e do pH do coagulante sulfato de ferroso clorado.
- Figura 10 Superfície de resposta e equação da estimativa da turbidez em função da dose e do pH do coagulante extrato de semente de moringa.

- Figura 11 Remoção dos sólidos suspensos da ARDC em função do tempo na camada de 20 cm de profundidade da coluna de sedimentação, para os coagulantes: sulfato férrico, extrato de semente de moringa , sulfato de alumínio e ARDC sem coagulante.
- Figura 12 Remoção dos sólidos suspensos da ARDC, em função do tempo, na camada de 40 cm de profundidade da coluna de sedimentação, para os coagulantes: sulfato férrico, sulfato de alumínio, extrato de semente de moringa (moringa), e ARDC sem coagulante.
- Figura 13 Remoção dos sólidos suspensos da ARDC, em função do tempo, na camada de 60 cm de profundidade da coluna de sedimentação, para os coagulantes: sulfato férrico, extrato de semente de moringa (moringa), sulfato de alumínio e ARDC sem coagulante.
- Figura 14 Remoção dos sólidos suspensos da ARDC, em função do tempo, na camada de 80 cm de profundidade da coluna de sedimentação, para os coagulantes: sulfato férrico, extrato de semente de moringa, sulfato de alumínio e ARDC sem coagulante.
- Figura 15 Fluxograma do sistema de tratamento.
- Figura 16 Valores médios do pH em cada ponto de coleta, para cada recirculação, na ARDC sob diferentes tratamentos: (a) sem coagulante, (b) sulfato férrico, (c) extrato de semente de moringa e (d) sulfato de alumínio.
- Figura 17 Valores médios de alumínio remanescente em cada ponto de coleta, para cada recirculação, na ARDC, quando utilizado como coagulante sulfato de alumínio.
- Figura 18 Valores médios de ferro remanescente em cada ponto de coleta, para cada recirculação, na ARDC, quando utilizado como coagulante sulfato férrico.

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E NOMENCLATURAS

A. = Aspergillus

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACR = água da despolpa dos frutos do cafeeiro com recirculação

Al $(OH)_3$ = hidróxido de alumínio

 $Al_2(SO_4)_3$ = sulfato de alumínio

ARDC =

ARS = água residuária da suinocultura

ASR = água da despolpa dos frutos do cafeeiro sem recirculação

C = concentração

C1= ARDC sem coagulante

C2 = ARDC com sulfato de alumínio

C3 = ARDC com sulfato férrico

C4 = ARDC com extrato de semente de moringa

CE = condutividade elétrica

C/E. = com esterilização

COAG = coagulante

CV = coeficiente de variação

D = dose

DBO = demanda bioquímica de oxigênio

Desc. = descascado

Desp. = despolpado

DQO = demanda química de oxigênio

EF = efluente

Fe Cl₃ 6H₂O = Cloreto férrico hexahidratado

Fe $(OH)_3$ = hidróxido de ferro

Fe $(SO_4)_3$ = sulfato férrico

 $Fe SO_4 + 3 HCl = sulfato ferroso clorado$

FV = fonte de variação

Gl = grau de liberdade

H = profundidade

K_t= potássio total

MO = extrato de semente de moringa

Na OH = hidróxido de sódio

 $Na_t = s\'{o}dio total$

NS = F não significativo a 5%

 $N_t = Nitrog\hat{e}nio total$

OTA = ocratoxina A

P = ponto de coleta das amostras

P1 = entrada do sedimentador

P2 = saída do sedimentador

P3 = saída do filtro orgânico

 $P_f = profundidade$

pH = potencial hidrogeniônico

PM = peso molecular

 $P_t = F \acute{o} s foro total$

R = recirculação

SA = sulfato de alumínio

SC= sem coagulante

SD = sólidos dissolvidos

S/E. = sem esterilização

SF = sulfato férrico

SFT sólidos fixos totais

SP = sólidos sedimentáveis

SS = sólidos em suspensão

ST = sólidos totais

SVT = sólidos voláteis totais

t = tempo

 \hat{T} = estimativa da turbidez

TUR = turbidez

UTN = unidade nefolométrica de turbidez

* = F significativo a 5%

** = F significativo a 1%

RESUMO

CABANELLAS, Cláudia Figueiredo Garrido, M. S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2004. **Tratamento da água sob recirculação em escala laboratorial, na despolpa dos frutos do cafeeiro.** Orientador: Antonio Teixeira de Matos. Conselheiros: Cláudio Mudado Silva e Paulo Roberto Cecon.

Este trabalho foi conduzido em escala laboratorial, no Laboratório de Água e Solo do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, com o objetivo de avaliar s eficiência do sistema tratamento físico e físico-químico da água residuária da despolpa de frutos do cafeeiro (ARDC), com o uso dos coagulantes: sulfato de alumínio, sulfato férrico, sulfato ferroso clorado, cloreto férrico e extrato de semente de moringa. Foram feitos testes utilizando o aparelho "Jar-test" para determinar a dose e a faixa de pH em que foram obtidas as maiores reduções da turbidez na ARDC, após 5 recirculações. Ensaios de sedimentação de sólidos em suspensão (SS) foram realizados em coluna, para quantificação da redução na concentração de SS na ARDC, ao longo da coluna Estes ensaios foram executados, utilizando-se os valores de concentração ou dose, nas faixas de pH definidas, no ensaio anterior, como as mais adequadas para a coagulação/floculação. Utilizando-se um protótipo em acrílico, constituído de grade, vertedor triangular, canal, sedimentador e filtro orgânico avaliou-se a eficiência do sistema no tratamento da ARDC em recirculação. Analisando os resultados obtidos, concluiu-se que:

a) No ensaio de coagulação/floculação, o extrato de semente de moringa apresentou maior remoção de SS com a dose de 10 mL L⁻¹ e pH de 4,27. Para os coagulantes sulfato de alumínio, sulfato férrico e cloreto férrico o melhor resultado foi obtido para a concentração de 3 g L⁻¹ e pH de 7,27 e para o coagulante sulfato ferroso clorado, com a concentração de 3g L⁻¹ e pH de 4,27; b) Na coluna de sedimentação, o extrato de semente de moringa, sulfato férrico e sulfato de alumínio proporcionaram remoção em torno de 80% de SS; c) Observou-se contínuo acréscimo nos valores de todas as variáveis físicas e químicas analisadas no efluente do sistema de tratamento (protótipo), na condição em que a ARDC em recirculação não tenha recebido coagulante; d) O coagulante sulfato férrico foi o coagulante mais eficiente para a remoção de DBO, DQO e CE da ARDC; e) Em relação à contaminação fúngica, o sulfato de alumínio proporcionou significativa diminuição na quantidade de fungos presentes nos grãos processados com a água em recirculação; f) A adição de coagulantes na ARDC não proporcionou diferença significativa da qualidade de bebida dos grãos de café, em escala laboratorial; g) O extrato de semente de moringa pode ser considerado boa alternativa para o tratamento da ARDC, quando o objetivo principal é a remoção de sólidos em suspensão, porém o tempo de detenção hidráulica para o referido coagulante é de 90 minutos, isto é, 6 vezes maior que o requerido pelos demais, o que poderá acarretar expressivo aumento nas dimensões do sistema de tratamento.

ABSTRACT

CABANELLAS, Cláudia Figueiredo Garrido, M. S., Universidade Federal de Viçosa, February 2004. **Treatment of the recirculating water in the coffee green cherries pulping under laboratory conditions.** Adviser: Antonio Teixeira de Matos. Committee members: Cláudio Mudado Silva and Paulo Roberto Cecon.

This study was carried out at the Water and Soil Laboratory pertaining to the UFV Agricultural Engineering Department aiming to evaluate the efficiency of the physical and physiochemical treatment of the wastewater from the coffee cherries pulping (ARDC), by using the coagulants: aluminum sulfate, ferric sulfate, chlorinated ferrous sulfate, ferric chloride and the calabash seed extract. The Jar-test apparatus was used in order to determine the dose and pH range in which the highest reductions of turbidity in ARDC were obtained after five recirculations. A number of assays for the suspended solid (SS) settlement were accomplished in column in order to quantify the reduction in SS concentration in ARDC throughout the column. These assays were accomplished, by using those values of concentration or dose at the pH ranges defined as the most appropriate for the coagulation/flocculation at the previous assay. The efficiency of the system in treatment of the recirculating ARDC was evaluated, by using an acrylic prototype consisting of screen, triangular weir, channel, settler and organic filter. According to the results, the following conclusions were drawn: a) in the coagulation/flocculation assay, the calabash seed extract showed higher removal of the suspended solids at a dose of 10 mL L⁻¹ and pH 4.27. For aluminum sulfate, ferric sulfate and ferric chloride, the best results were obtained at the concentration of 3 g L⁻¹ and pH 7.27, whereas for the chlorinated ferrous sulfate they were reached at the concentration of 3g L⁻¹ and pH

4.27; b) in the settlement column, the calabash seed extract, ferric sulfate and aluminum sulfate provided a removal around 80% suspended solids; c) a continuous increment was observed in the values of all physical and chemical variables analyzed in the effluent of the treatment system (prototype), under the condition that the recirculating ARDC has not received any coagulant; d) the ferric sulfate was the most efficient coagulant in removing the DBO, DQO and CE of ARDC; e) in relation to fungus contamination, the aluminum sulfate provided a significant decrease in the amount of fungus in the coffee cherries processed with recirculating water; f) the coagulant addition into ARDC provided no significant differences in the quality of the coffee cherries beverage at laboratory scale; g) the calabash seed extract may be considered as a good alternative for the treatment of ARDC, when the main objective is the removal of the suspended solids, but the time of hydraulic detention for this coagulant is 90 minutes, that is, 6 times higher than that required by the other ones, what might lead to an expressive increase in the dimensions of the treatment system.

1 - INTRODUÇÃO

A adoção de tecnologias no processamento do fruto do cafeeiro visa a obtenção de melhorias qualitativas e maior retorno econômico nas atividades de produção de grãos de café. Sabe-se que o processamento pós-colheita é uma operação que tem influência direta sobre a qualidade, e por consequência, no valor econômico dos grãos de café (NOGUEIRA, 1986).

O processamento do fruto do cafeeiro pode ser feito por via seca ou via úmida. No processamento via seca, os frutos são geralmente secos "em côco". No processamento via úmida, o fruto tipo "cereja" é lavado e despolpado (retirada da casca e de parte da polpa), e em alguns casos desmucilado, sendo este processo indicado para as regiões de inverno úmido, nas quais podem ocorrer fermentações prejudiciais na polpa do fruto maduro, prejudicando a qualidade da bebida. O processamento por via úmida facilita e diminui os custos de secagem dos grãos, obtendo-se um produto com qualidade para ser comercializado no exterior, um mercado bastante exigente em termos de qualidade de bebida.

No intuito de produzir grãos de café de melhor qualidade, a prática da lavagem e despolpa dos frutos, removendo-se a mucilagem aderida aos grãos, tem sido implementada nas áreas de cultivo do cafeeiro arábica nos Estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro, Bahia, Pernambuco e Ceará. Quando essa prática é executada obedecendo-se as recomendações técnicas, proporciona invariavelmente a produção de grãos de bebida suave, mole ou estritamente mole.

A disposição dos resíduos orgânicos gerados no processo de beneficiamento dos frutos do cafeeiro é, no entanto, um dos principais problemas nas unidades de processamento de frutos por via úmida. DELGADO e BAROIS (1999), citam que no processamento via úmida tradicional são gerados aproximadamente, 3 toneladas de subprodutos e são requeridas 4 toneladas (m³) de água para produzir 1 tonelada de grãos processados. Estudos realizados na distribuição dos macrocomponentes do fruto de cafeeiro do tipo "cereja", desde o início do processamento pós-colheita até a sua infusão permitem constatar que

somente 6% do peso do fruto fresco é aproveitado na preparação da bebida. Os 94% restantes, constituídos por água e subprodutos do processo, na maioria dos casos, quando não recuperados podem ser fonte de contaminação do meio ambiente (VASCO, 2000).

O processamento dos frutos do cafeeiro gera resíduo sólido e efluente líquidos. O efluente líquido proveniente da lavagem e despolpa do fruto do cafeeiro, contém elevadas concentrações de açúcares, material orgânico em suspensão e constituintes orgânicos e inorgânicos em solução, com grande potencial poluidor.

As políticas tarifárias praticadas pelas companhias municipais e estaduais de saneamento, assim como o advento e a implementação das estruturas de outorga e cobrança, tanto na tomada de água como no lançamento dos despejos produzidos nos corpos d'água, tem levado muitos produtores a recircular a água da lavagem e despolpa do fruto do cafeeiro, de forma a tentar minimizar o uso desse recurso utilizando lavadores mecânicos. O consumo de água na despolpa de frutos do cafeeiro varia com o equipamento e com a operação do sistema. Geralmente gasta-se de 3 a 5 litros de água para cada litro de fruto despolpado (MATOS et al., 2001). Caso seja feita recirculação de água esta proporção diminui para aproximadamente 1 litro para cada litro de fruto processado. No processo com recirculação da água ocorre, entretanto, expressivo aumento na concentração de material suspenso e em solução, podendo comprometer a qualidade final do produto.

A qualidade do grão de café está relacionada às características do produto que incluem a cor, aspecto, número de grãos com defeitos, aroma e gosto da bebida, que por sua vez depende de vários fatores tais como: a composição química do grão determinada por fatores genéticos, o sistema de cultivo e o tipo de processamento (fermentação, contaminação por fungos); o tipo de armazenamento; e a forma de torração e preparo da bebida.

A contaminação do fruto do cafeeiro por fungos pode ocorrer no terreiro, na maquinaria, sendo maiores os riscos quando há recirculação da água. Dentre as espécies de fungos associados aos frutos e grãos de café estão incluídos os gêneros *Aspergillus, Penicillium* e *Fusarium*. A infecção do fruto do cafeeiro por

fungos resulta em perda da qualidade do grão e a formação da Ochratoxina, (OTA), um metabólico fúngico com o nome derivado do patógeno *Aspegillus ochraceus*. A presença de OTA nos grãos está associada a nefropatia, substância considerada cancerígena para os humanos (CHERNICHARO, 2001).

Não existem, ainda, estudos técnico-científicos sobre a melhor forma de se tratar os efluentes provenientes da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro para seu reaproveitamento no processamento.

Em vista disso, estudos passaram a ser necessários no intuito de se disponibilizar técnicas de tratamento que possam ser utilizadas para melhoria das características da água de recirculação na despolpa dos frutos do cafeeiro (ARDC).

Com a execução do presente trabalho têve-se por objetivo, avaliar em escala laboratorial, a eficiência de um sistema de tratamento físico-químico para tratamento da ARDC, procurando-se determinar a combinação coagulante-dosagem-pH que maximize a remoção de sólidos em suspensão presentes na água residuária da despolpa do fruto do cafeeiro, estudar o desempenho do sistema floculação/sedimentação e filtração no tratamento da ARDC, além de avaliar a contaminação fúngica dos grãos e a qualidade da bebida do café proveniente do processamento com águas recirculadas, sob diferentes condições de tratamento.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Sistemas de processamento do fruto do cafeeiro

Em virtude do método de colheita empregado no Brasil, tem-se uma mistura de frutos verdes, maduros (cereja e verdoengos), passas e secos, folhas, ramos, torrões e pedras, devendo ser o material colhido limpo e separado nas suas diversas frações, para serem secados formando lotes individualizados, em termos qualitativos. O conjunto dessas operações é denominado processamento do fruto do cafeeiro, o qual pode ser feito de duas formas: por via seca ou via úmida. No processamento por via seca, seca-se integralmente os frutos do cafeeiro para posterior remoção da casca e beneficiamento final do grão. A secagem via úmida consiste na secagem dos frutos sem a casca e a mucilagem, originando os grãos descascados e despolpados, respectivamente.

2.1.1 Processamento do fruto do cafeeiro por via seca

Os frutos do cafeeiro, após a colheita, devem ser submetidos, imediatamente, aos processos de separação das impurezas, que podem ser feitos por peneiramento manual, ventilação forçada ou máquinas de pré-limpeza. Após a retirada de impurezas, os frutos do cafeeiro passam por separador hidráulico, para a lavagem e para a separação dos frutos verdes, verdoengos e "cereja", que são mais pesados do que os frutos "bóias", que são aqueles que se encontram secos, brocados, mal formados ou verdes e que, por isso, são mais leves.

Os lavadores utilizados na lavagem e separação dos frutos do cafeeiro podem ser de alvenaria, lavador Maravilha ou mecânicos. A grande desvantagem do lavador Maravilha é o grande consumo de água, que dependendo do projeto e do estado de impureza do produto colhido, poderá ser superior a cinco litros para cada litro de fruto lavado. Nos lavadores mecânicos há um consumo médio de 0,17 a 0,3 litros de água por litro de frutos lavados (BUENO, 1998). A diferença no consumo de água dos dois lavadores deve-se ao fato de que no lavador Maravilha grande parte da água é usada para o transporte dos frutos do cafeeiro, enquanto que nos lavadores mecânicos o transporte é feito mecanicamente. Além

do menor consumo de água e menor uso de mão-de-obra, os lavadores mecânicos são mais compactos e podem ser mais facilmente remanejados (SILVA et al., 2001).

2.1.2 Processamento do fruto do cafeeiro por via úmida

O processamento via úmida é recomendado para produção de grão de café de melhor qualidade, em regiões de clima úmido, pois a lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro reduz a probabilidade de fermentação do grão e o tempo de secagem do mesmo, porém, se mal conduzida, pode prejudicar a qualidade e a aceitação no mercado externo.

Essa forma de processamento dá origem aos grãos de café lavados/descascados ou despolpados ou lavados/despolpados/desmucilados, bastante comuns entre os produtores da América Central, México, Colômbia, Quênia e África, alcançando boas cotações no mercado, por proporcionarem, de modo geral, bebida suave, mole ou estritamente mole.

Embora o Brasil seja conhecido como produtor de grãos de café obtidos por via seca, uma vez que esta é a forma de processamento de 90% de sua produção total (SILVA e LEITE, 2000), tem crescido o número de produtores que optam pelo processamento do fruto tipo "cereja", despolpando-o e desmucilando-o, principalmente em regiões montanhosas com adequada disponibilidade de água.

O despolpamento do fruto do cafeeiro consiste na retirada da casca do fruto maduro, por meio de um descascador mecânico, seguido ou não de remoção da mucilagem e lavagem final dos grãos. Logo após o descascamento os grãos podem ser levados diretamente para o terreiro, permanecendo a mucilagem aderida aos grãos durante a secagem dando-lhe características únicas como: padrão de uniformidade, características de corpo, acidez e doçura de café natural (VIEIRA e CARVALHO, 2000).

Os grãos de café despolpados têm a vantagem de proporcionar considerável diminuição da área de terreiro de secagem, que pode chegar a uma redução de 40% (BUENO, 1998), além de redução do tempo (BARTHOLO e

GUIMARÃES, 1997) e consumo energético na secagem, já que os grãos despolpados apresentam relativamente baixo teor de umidade, em torno de 50% b.u., quando em comparação com o fruto integral.

2.2 Resíduos provenientes do processamento do fruto do cafeeiro

A atividade de lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro, necessária para redução do custo de secagem dos grãos e melhoria na qualidade da bebida, gera grandes volumes de águas residuárias, ricas em material orgânico em suspensão e constituintes orgânicos e inorgânicos em solução, de grande poder poluente, além de grande quantidade de resíduos sólidos (MATOS et al., 2000). Para se ter uma idéia da magnitude do problema, o processamento da safra de 1998/99 de grãos de café resultou em 2,1 milhões de toneladas de cascas e 310 mil toneladas de borra esgotada, usada na produção de café solúvel, e liberou para a atmosfera 561 mil toneladas de monóxido de carbono (VEGRO e CARVALHO, 2000).

O Brasil, maior exportador de grãos de café, enfrenta problemas com relação ao destino final dos efluentes líquidos (águas de lavagem, da despolpa e da desmucilagem) e dos resíduos sólidos (polpa úmida) gerados no processamento via úmida do fruto do cafeeiro, que tem aumentado para atender a crescente demanda internacional por grãos de alta qualidade e que proporcionem bebida fina.

A água residuária, constituída pelas águas provenientes de todas as operações de processamento é dentre todos os resíduos do processamento do fruto do cafeeiro, o que provoca o maior impacto ambiental. A água residuária proveniente de lavagem, despolpa e desmucilagem contém relativamente alta quantidade de sólidos suspensos, além de conter açúcares e outros materiais orgânicos solúveis.

2.2.1 Características da água residuária gerada na produção do fruto do cafeeiro lavado e despolpado

Segundo MATOS et al., (2003a), as principais características físicas, químicas e bioquímicas das águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro tipo "cereja", quando submetidas à recirculação no sistema de processamento, estão apresentadas na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 – Resultados das análises químicas e bioquímicas das amostras de água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro arábica

TIPO	FUNÇAO	pН	DQO	DBO ₅	OBO ₅ N _T		K _T	Na _T				
			mg.L ⁻¹									
ASR	Desc./Desp	3,5-5,2	3.430-8.000	1.840-5.000	120-250	4,5-10,0	315-460	2,0-5,5				
ACR	Desc./Desp	-	18.600-29.500	10.500-14.340	400	16	1.140	16,5				

Fonte: http://www.pos-colheita.com.br/

Sendo: \overrightarrow{ASR} - Arábica sem recirculação e \overrightarrow{ACR} - Arábica com recirculação; N_T - nitrogênio total, P_T - fósforo total, K_T - potássio total, \overrightarrow{DQO} - Demanda Química de Oxigênio e \overrightarrow{DBO} - Demanda Bioquímica de Oxigênio, Na_T - sódio total .

Tabela 2 – Caracterização das águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro conilon

EF	pН	CE	SP	ST	SS	SD	SFT	SVT	DQO	DBO_5	Nt	Pt	Na	K
		dSm ⁻¹	mL L ⁻¹		mg L ⁻¹									
1	4,9	0,259	17	1069	380	689	390	679	1520	411	76,8	5	25,5	41
2	4,75	0,5848	0	4889	850	4039	126	4763	5148	2525	105,5	8,8	45	115
3	4,1	0,718	180	5504	1888	3616	706	4798	10667	3184	124,6	10,8	58,3	154
4	4,1	0,992	330	6403	2336	4067	848	5555	11000	3374	160	13,9	77,1	205

Fonte: http://www.pos-colheita.com.br/

CE – Condutividade Elétrica, SP – Sólidos Sedimentáveis, ST – Sólidos Totais, SS – Sólidos em Suspensão, SD – Sólidos Dissolvidos, SFT – Sólidos Fixos Totais, SVT – Sólidos Voláteis Totais, DQO – Demanda Química de Oxigênio, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nt – Nitrogênio Total, Pt – Fósforo Total, Na – Sódio, K – Potássio, EF - efluente

- 1 Efluente do Lavador
- 2 Efluente do Despolpador (1 despolpa), Volume médio de água por litro de fruto gasto em 1 despolpa = 3.0 L
- 3 Efluente do Despol
pador (2 despolpas = 1 Recirculação), Volume médio de água por litro de fruto gasto em 2 despol
pas = 1,8 L
- 4- Efluente do Despol
pador (3 despolpas = $2^{\rm a}$ Recirculações), Volume médio de água por litro de fruto gasto em 3 despolpas = 1,8 L
- Volume Médio de Frutos Processados por dia = 15.000 L.

De acordo com MATOS et al., (2003a), os dados apresentados nos tabelas 1 e 2 apresentam os valores das características químicas e físicas presentes na água residuária do processamento de frutos das duas espécies apresentadas do gênero *Coffea* indicam um potencial poluente cada vez maior à medida que se recircula a água, para a economia deste insumo. Ainda, segundo MATOS et al.

(2003b), em vista dos riscos de entupimento do sistema de aspersão e contaminação dos frutos seja viável seu reaproveitamento apenas se for submetida ao tratamento preliminar seguido de um tratamento primário antes de ser bombeada para recirculação no sistema.

A determinações da DBO₅ e DQO são de grande importância na verificação do grau de poluição orgânica de cursos d'água, no estudo de cargas orgânicas poluidoras e na escolha do tipo de tratamento. No caso em que a DQO seja menor que o dobro da DBO, é possível que grande parte da matéria orgânica seja biodegradável e se a DQO for muito além do dobro da DBO, é possível que grande parte da matéria orgânica não seja biodegradável. Outros parâmetros importantes para a caracterização e quantificação da poluição são: pH, sólidos totais, sedimentáveis, suspensos, condutividade elétrica e turbidez.

O potencial hidrogeniônico (pH) é um parâmetro importante, pois condiciona as reações químicas do meio. A eficiência de coagulantes na floculação de sólidos em suspensão na água pode estar diretamente associada ao valor de pH do meio, por isso, sua determinação é importante no controle de processos que envolvam as etapas de coagulação, decantação e filtração.

Os sólidos dissolvidos e em suspensão são os responsáveis pelo aparecimento da turbidez nas águas. A turbidez nas águas é proporcionada pela presença de partículas em suspensão e em estado coloidal, as quais podem apresentar ampla faixa de tamanhos (von SPERLING, 1996). É necessário se fazer distinção entre material suspenso que precipita rapidamente, dos chamados sedimentos que precipitam vagarosamente e provocam a turbidez. A turbidez é encontrada em quase todas as águas de superfície, em valores elevados, sendo normalmente ausente em águas subterrâneas.

A condutividade elétrica (CE) depende da quantidade de sais dissolvidos na água, sendo tanto maior quanto maior for a concentração de eletrólitos nela dissolvidos e por isso, sua determinação possibilita estimar a quantidade de sólidos totais nela dissolvidos. Elevadas concentrações de sólidos totais dissolvidos fazem aumentar a solubilidade dos precipitados de alumínio e de ferro, o que influi na cinética da coagulação (DI BERNARDO, 2000).

2.3 O Problema Ambiental ocasionado pelo lançamento das águas residuárias da despolpa dos frutos do cafeeiro

Segundo BRESSANI et al., (1972), o processamento dos frutos "cereja", por via úmida, resulta em 55,4% de grãos secos, 33,8% de polpa dos grãos de café e 11,8% de casca (neste trabalho de tese, considera-se polpa o conjunto formado pela casca e a polpa, propriamente dita), sendo que o processamento do fruto "cereja" resulta em proporções bastante semelhantes de frutos verdes e casca.

O impacto ambiental que as águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro (ARDC) causa ao ambiente é grande, não somente pela carga orgânica contaminante, mas também pelo grande volume de águas limpas que é utilizado no processamento do fruto (CAMPOS, 1993).

O crescimento das ações fiscalizadoras pelos órgãos ambientais tem levado os produtores a buscarem opções tecnológicas com o intuito de reduzir o consumo de água no processamento do fruto do cafeeiro. Isso, segundo SAUCEDO et al., (2000), tem feito com que as empresas que desenvolvem máquinas de despolpa de frutos do cafeeiro envidem esforços para que se desenvolvam equipamentos mais eficientes, que utilizem menor volume de água no processamento.

A recirculação da água é utilizada para reduzir o volume de água gasto no processamento por via úmida, água é um recurso natural limitado que passou a ser mensurada como bem econômico. A cobrança pelo uso da água está inserida dentro do princípio geral do direito Ambiental que impõe àquele que, potencialmente, auferir os lucros com a utilização dos recursos ambientais, o pagamento dos custos. Porém, a recirculação da água de processamento acarreta o aumento da carga poluente da mesma e a possibilidade de contaminação dos grãos de café processados. As águas residuárias dos frutos do cafeeiro em recirculação podem ser consideradas como veiculadoras de fungos e contaminantes que podem prejudicar a qualidade do grão.

2.4 Legislação em relação ao consumo e a disposição de águas residuárias.

A Legislação Ambiental do Estado de Minas Gerais (Deliberação Normativa COPAM nº 10/86) estabelece que, para o lançamento de águas residuárias em corpos hídricos, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), que é a medida da quantidade de material orgânico presente nas águas residuárias, seja de 60 mg L⁻¹ e a DQO seja de 90 mg L⁻¹ ou que a eficiência do sistema de tratamento das águas residuárias, para remoção da DBO, seja superior a 85%, desde que o lançamento deste efluente não venha a causar alteração da classe de enquadramento do curso d'água. Além disso, estabelece que quaisquer fontes poluidoras, para serem lançadas direta ou indiretamente nos corpos d'água deverão conter, no máximo, 1 mL L⁻¹ de sólidos sedimentáveis (SP) e 100 mg L⁻¹ de sólidos em suspensão (SS).

A Constituição Brasileira, em vigência desde 1988, modificou, em vários aspectos, o texto do Código de Águas. Uma das alterações feitas foi à extinção do domínio privado da água que, a partir de outubro de 1988, passou a ser de domínio público, sendo, portanto, necessária uma regulamentação para que as pessoas possam fazer uso dos recursos hídricos. A Lei Federal nº 9433 de 08 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, regulamentou o inciso XIX do art.21 da Constituição Federal. O princípio do texto da Lei no 9433 proclama os princípios básicos praticados atualmente em quase todos os países que avançaram na gestão dos recursos hídricos. O primeiro deles é o da adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, o segundo princípio é o dos usos múltiplos da água, que coloca todas as categorias de usuários em igualdade de condições, em termos de acesso a esse recurso natural, terceiro princípio traduzido no espírito da lei, é o reconhecimento da água como um bem finito e vulnerável, que serve de alerta para a necessidade de uma utilização preservacionista desse bem, quarto princípio é o reconhecimento do valor econômico da água, fortemente indutor de seu uso racional, dado que serve de base para a instituição da cobrança pela utilização dos recursos hídricos e o quinto princípio é o da gestão descentralizada e participativa (autor??).

A outorga de direito de uso da água, garante ao usuário o direito de uso da água condicionado à disponibilidade hídrica. De acordo com a portaria 010/98, até que se estabeleçam as diversas vazões de referência a serem utilizadas nas bacias hidrográficas, a vazão de referência adotada no Estado de Minas Gerais é a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência). Nesta mesma Portaria é fixado o percentual de 30% da $Q_{7,10}$ como o limite máximo de derivações consultivas a serem outorgadas em cada seção da bacia hidrográfica considerada, ficando garantido assim, fluxo residual mínimo a jusante equivalente a 70% da $Q_{7,10}$ (FRÓES, 2002).

As políticas tarifárias praticadas pelas companhias municipais e estaduais de saneamento, assim como o advento e a implementação das estruturas de outorga e cobrança, tanto na tomada de água como na diluição dos despejos produzidos, tem levado muitos produtores a recircular a água da lavagem e despolpa do fruto do cafeeiro, de forma a tentar minimizar o uso desse recurso utilizando lavadores mecânicos. O consumo de água na despolpa de frutos do cafeeiro varia com o equipamento e com a operação do sistema. Geralmente, gasta-se de 3 a 5 litros de água para cada litro de fruto despolpado (MATOS et al., 2001a). Caso seja feita recirculação de água, esta proporção pode diminuir para, aproximadamente, 1 litro de água para cada litro de fruto processado.

2.5 Tratamento da água residuária do fruto do cafeeiro para recirculação

Para possibilitar preservação da qualidade do produto, torna-se necessário um tratamento prévio da água em recirculação no processo da despolpa dos frutos do cafeeiro, uma vez que essas águas vão adquirindo, à medida que vão sendo submetidas a novas recirculações, grande quantidade de sólidos solúveis e em suspensão. Por esta razão, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologia que possibilite a remoção, em curto período de tempo, de sólidos em suspensão nessas águas, de forma a possibilitar a obtenção de um produto de boa qualidade com economia de água de processamento.

Caso seja de interesse o lançamento dessa água em cursos d'água, deve-se optar pela de construção de um tanque de sedimentação, seguido por lagoa

anaeróbia e lagoa facultativa. Para o aproveitamento na fertirrigação, recomendase a filtragem do efluente do tratamento preliminar, a fim de se evitar o entupimento dos emissores (MATOS et al., 2001b).

2.5.1 Tratamento preliminar

O tratamento preliminar destina-se principalmente à remoção de sólidos grosseiros e areia.

A remoção de sólidos grosseiros é normalmente, feita por grades, peneiras rotativas ou trituradores. No gradeamento, o material de dimensões maiores do que o espaçamento entre as barras é retido, podendo ser retirados da grade manualmente ou de forma mecanizada.

No tratamento preliminar da água residuária do fruto do cafeeiro, a grade ou peneira a ser inserida no canal de condução da água proveniente do préprocessamento dos frutos deve ter a malha de, no máximo, 5 mm, sendo instalada numa inclinação de 45° com a horizontal (MATOS et al., 2001b).

2.5.2 Tratamento primário

No tratamento primário predominam os mecanismos físicos de remoção de poluentes, objetivando-se à remoção de sólidos em suspensão, sedimentáveis e flutuantes.

A sedimentação é uma operação física de separação de partículas sólidas com densidade superior à do liquido circundante. Em um tanque em que a velocidade da água é baixa, as partículas tendem a ir para o fundo sob a influência da força da gravidade. O líquido sobrenadante torna-se, em conseqüência disso, clarificado, enquanto as partículas no fundo formam a camada de lodo (von SPERLING, 1996). A sedimentação ou decantação é uma operação unitária de grande importância e faz parte do processo primário de tratamento de esgotos (BOTELHO et al., 2001).

Podem ser considerados quatro tipos de mecanismos ou processos de sedimentação, dependendo da natureza dos sólidos presentes na suspensão.

Sedimentação discreta

Na sedimentação discreta, as partículas que vão se depositando no fundo do tanque mantêm sua individualidade, ou seja, não se submetem a um processo de coalescência com outras partículas. Neste caso, as propriedades físicas das partículas (tamanho, forma, peso específico) não se modificam durante o processo. A deposição de partículas de areia nos desarenadores é um exemplo típico de sedimentação discreta (von SPERLING, 1996).

Sedimentação com floculação

Na sedimentação floculenta, as partículas se aglomeram, formando flocos, que tendem a crescer de tamanho à medida que sedimentam (von SPERLING, 1996). A aglomeração das partículas vem acompanhada de mudanças de densidade e na velocidade de sedimentação ou precipitação. A sedimentação que ocorre nos clarificadores ou sedimentadores primários é um exemplo deste processo (VIANNA, 2002).

Sedimentação por zonas

Na sedimentação zonal as partículas formam uma espécie de manta que é sedimentada como uma massa coesa, apresentando uma interface distinta com a fase líquida. Exemplos deste processo incluem a sedimentação de lodos ativos nos clarificadores secundários e dos flocos de alumínio nos processo de tratamento da água (VIANNA, 2002).

Sedimentação por compressão

Caso a concentração de sólidos na água residuária seja muito elevada, a sedimentação pode ocorrer por compressão da estrutura das partículas. A compressão é exercida pelo peso das partículas de camadas suprajacentes em sedimentação no líquido. Com a compressão exercida, parte da água é removida da matriz do floco, reduzindo seu volume. Exemplos deste processo ocorrem no fundo de decantadores secundários e adensadores, por gravidade (METCALF & EDDY, 1991).

Por ser objetivo de pesquisa nesta tese, a forma de sedimentação predominante em processos de sedimentação que envolvem a adição de coagulantes, discussão mais profunda será destinada à sedimentação floculenta.

O processo de formação de flocos que ocorre na sedimentação floculenta é decorrente da desestabilização das partículas coloidais por adição de agentes coagulantes (VIANNA, 2002).

Segundo RAMALHO (1996), a velocidade de sedimentação das partículas aumenta, devido ao efeito de coalescência com outras partículas. Como a floculação ocorre à medida que as partículas se dirigem para o fundo, quanto mais chances de contato elas tiverem, maior a formação de flocos, assim sendo, a sedimentação floculenta tem a sua eficiência aumentada com o aumento da profundidade **H** e do tempo **t**.

Para favorecer a floculação dos sólidos em suspensão, baixa-se à velocidade da água no tanque, de forma a facilitar o crescimento dos flocos, tornando-os, com isso, mais pesados. Na saída do floculador, têm-se flocos pesados o suficiente para que a maioria deles possa ser separada da água em tratamento, por sedimentação, no interior dos decantadores (VIANNA, 2002).

2.5.3 Tratamento Físico-Químico

O tratamento químico de águas residuárias vem sendo estudado ao longo dos anos por ser adequado em situações específicas como fluxo intermitente, águas contendo substâncias desfavoráveis ao desenvolvimento biológico e águas contendo impurezas não biodegradáveis.

Com os avanços na química dos polímeros, aumentou-se o interesse neste tipo de tratamento, que permite atender às restrições impostas para a descarga de efluentes. A viabilidade do processo químico reside na sua utilização como prétratamento biológico tendo por conseqüência a redução no tamanho, complexidade e custo do tratamento secundário (SEMERJIAN et al., 2002). Ainda, segundo o autor, o processo químico ocorre rapidamente é mais previsível, mais fácil de controlar e está apto à automação; é um processo relativamente tolerante às mudanças de temperatura e concentração de substâncias tóxicas, pode-se adaptar para cargas e fluxos variáveis, bem como descargas intermitentes e complexas.

Sistemas de tratamento químico geralmente requerem pequena área e possuem baixo custo de implantação e apresentam excelente qualidade do efluente produzido, por outro lado, os custos de operação são elevados, principalmente em larga escala, a produção de lodo inorgânico é muito maior que o produzido no tratamento biológico e produz um efluente com alta salinidade.

2.5.3.1 Coagulação

Coagulação é o processo de neutralização das cargas negativas das partículas que faz com que as mesmas se atraiam, promovendo sua aglomeração, formando, com isso, partículas maiores as quais proporcionam maior velocidade de sedimentação. A coagulação é reportada como processo de tratamento em uma variedade de efluentes industriais, como indústria têxtil, processamento de carnes e peixes, indústrias de bebidas (AL MALACK et al., 1999).

Em geral, o tempo necessário para que haja a floculação dos sólidos em suspensão na água está entre 12 e 20 minutos. Outra variável importante no processo é o grau de agitação da água que deve ser suficiente para promover a colisão das partículas primárias, visando o crescimento do floco.

O processo de coagulação é responsável pela separação das impurezas associadas às partículas, causando redução da DBO no esgoto bruto entre 70% e 75% e redução de sólidos suspensos entre 95% e 98%. CHERNICHARO (2001) relatou que, no tratamento de água em geral, o pH de coagulação deve ser otimizado, para que se obtenha eficiente clarificação do efluente, o que pode ser feito pela adição de um ácido ou de uma base.

A coagulação resulta de dois mecanismos básicos, a coagulação eletrocinética, onde o Potencial Zeta é reduzido por íons ou colóides de cargas opostas e a ortocinética, onde as miscelas se agregam e formam flocos que aglomeram as partículas em suspensão. Para ocorrer à coagulação, é necessários a adição de cátions de alumínio ou ferro, e os compostos geralmente usados para fornecer estes cátions são sais de reação ácida (ANDRADE NETO, 1977).

As partículas coloidais comumente encontradas em águas residuárias são usualmente eletrocarregadas, conseqüentemente ocorre repulsão entre elas, nesta

situação a suspensão coloidal é denominada estável. Os colóides apresentam cargas em sua superfície que, por sua vez atraem íons, formando uma camada fixa de cátions e ânions. A aproximação que um colóide pode ter com outro, depende da espessura dessa camada iônica. Quando essa camada é muito espessa ocorre a dispersão do material sólido no meio, não ocorrendo à floculação do material em suspensão. Se a espessura da camada diminui a ponto de tornar pequena o suficiente à distância entre colóides, haverá a floculação de sólidos em suspensão (MATOS et al., 2000). Para que ocorra a redução da espessura da camada iônica, também denominada dupla camada difusa, é necessária a substituição dos cátions monovalentes por cátions polivalentes nessa camada. Íons de alumínio e íons férricos são, normalmente utilizados para este fim.

Ao serem adicionados agentes floculantes ao meio líquido, são criadas condições para que haja aglutinação das partículas em suspensão, facilitando a sua posterior remoção por sedimentação e/ou filtração. Desta forma, os processos físico-químicos de floculação e físico de decantação têm por objetivo aumentar a eficiência de sedimentação natural das partículas.

Resultados obtidos por diversos pesquisadores tem indicado que, em geral, o processo de coagulação pode ser efetivo no que diz respeito à diminuição das concentrações de substâncias húmicas em águas de abastecimento (KAVANAUGH, 1978, SEMMENS et al., 1980; CHADIK et al., 1983).

Para NASCIMENTO FILHO (2001), a coagulação resulta de dois fenômenos. O primeiro, essencialmente químico, consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas dotadas de cargas positivas, que depende da concentração do coagulante e pH final da mistura. O segundo fenômeno, fundamentalmente físico, consiste no mecanismo de transporte das espécies hidrolisadas para que realizem contato com as partículas presentes na água. O processo é muito rápido variando desde décimos de segundos a cerca de 100 segundos, dependendo das demais características da massa de água (pH, temperatura, quantidade de impurezas, etc). O principal efeito da temperatura na coagulação é sobre o tempo requerido para a boa formação do floco. De modo geral quanto menor a temperatura, maior é o tempo requerido para a formação do floco, para uma mesma quantidade de coagulante,

desta forma quando o tempo de coagulação é limitado e ocorrem baixas temperaturas, adiciona-se mais coagulantes, visto que a temperatura é um parâmetro de mais difícil controle, sendo seu efeito contornado pelo ajustamento de outros fatores.

2.5.3.2 Mecanismos de Coagulação

Os principais mecanismos que atuam na coagulação são: compressão da camada difusa; adsorção e neutralização; varredura; adsorção e formação de pontes.

Caso o mecanismo de coagulação seja a varredura, as substâncias húmicas podem ser removidas por mecanismos de co-precipitação. No caso do processo de coagulação se dar por mecanismos de adsorção-neutralização, as substâncias húmicas serão removidas, preferencialmente, por precipitação com espécies hidrolisadas de alumínio ou ferro.

Uma vez que ambos os mecanismos relatados são dependentes da especiação do sal metálico em meio aquoso, é importante notar que o tipo de coagulante, dose ou concentração, pH, temperatura e força iônica, aliada às características dos compostos húmicos são extremamente importantes na determinação de qual mecanismo é o preponderante, ou se eles ocorrem de forma concomitante.

Segundo SEMERJIAN et al., (2002), o processo de coagulação é utilizado para aumentar o grau de remoção dos sólidos em suspensão, DBO, DQO e população de bactérias, em sedimentadores primários, bem como melhorar o desempenho do tratamento secundário.

2.5.3.3 Coagulantes

CAMPOS e POVINELLI (1974), citados por VIANNA (2002), consideram como principais coagulantes o sulfato de alumínio, que é de fácil transporte e manejo, baixo custo; o sulfato ferroso, que é especialmente indicado no tratamento de águas que apresentem pH elevado; o sulfato férrico, que é

adequado no tratamento de águas muito coloridas ou ácidas, o cloreto férrico, que – produz flocos em amplo intervalo de pH e o aluminato de sódio, que pode ser empregado, juntamente com a cal, para abrandamento de águas.

2.5.3.3.1 Sulfato de alumínio

A espécie química do sulfato de alumínio tem por fórmula química $Al_2(SO_4)_3nH_2O$, em que "n" representa aproximadamente 14 a 18 moléculas de água de cristalização. Quando anidro tem peso molecular aproximadamente igual a PM=342,16, e decompõe-se a temperatura de 600°C com desprendimento de anidro sulfúrico (PAVANELLI, 2001).

Os sais de alumínio são os mais comuns coagulantes químicos utilizados no processo de tratamento de águas, atuando bem com um pH entre 5,5 e 8. Para GAO et al. (2002) a desvantagem do uso de sais de alumínio é a inabilidade no controle da natureza dos compostos formados durante a diluição, em condições de águas brutas, além disso o alumínio não é biodegradável, causando um sério problema de disposição do lodo gerado. A eficiência dos coagulantes convencionais a base de alumínio pode piorar com as mudanças na temperatura e na natureza da água residuária, o que possivelmente irá requerer mudanças na dose do coagulante e no pH de coagulação. O efeito dos sais de alumínio como coagulante é fortemente dependente do pH, podendo ocorrer altas concentrações de alumínio residual na água, em conseqüência do pH de floculação usado (SPINELLI et al., 2001).

Teoricamente, no caso do alumínio, quando o pH estiver próximo de 6 e 7 é provável que a remoção de substâncias húmicas se dê, principalmente, por coprecipitação. Caso o pH seja menor que 5, possivelmente a sua remoção se dê pela formação de espécies insolúveis resultantes da interação entre os compostos hidrolisáveis do alumínio e as substâncias húmicas. Se o pH estiver situado entre 5 e 6, provavelmente, ambos os mecanismos podem ocorrer (VIEIRA, 1999).

2.5.3.3.2 Sulfato Férrico

Os sais de ferro são muito utilizados como coagulantes para tratamento de água. Suas reações são as de neutralização de cargas, e formação de hidróxidos insolúveis de ferro. Devido à baixa solubilidade dos hidróxidos férricos, eles podem agir sobre uma ampla faixa de pH. Com pH entre 8 e 11, o sulfato férrico ou ferroso representa uma melhor escolha. Para problemas de difícil remoção de cor, o sulfato férrico num pH entre 5 e 6 é muitas vezes mais eficiente (DREW, 1979). Na coagulação, a formação de flocos é mais rápida, devido ao alto peso molecular comparado com o alumínio; por conseguinte os flocos são mais densos e o tempo de sedimentação é reduzido significativamente (PAVANELLI, 2001). O lodo formado também é mais compacto, principalmente quando se tem baixa temperatura. O sulfato férrico oferece dificuldades para a dissolução, o que não ocorre com o sulfato de alumínio e com o sulfato ferroso (AWWA, 1964). Comparando com os sulfatos, os cloretos férricos têm baixo consumo de alcalinidade, e, conseqüentemente, menor redução de pH.

A utilização do cloreto férrico diminui drasticamente a turbidez e a DBO, e elimina fosfatos; uma boa parte de metais pesados (mercúrio, chumbo) ou venenosos (arsênio, selênio, bário) também é eliminada quando a coagulação é realizada em valores elevados de pH (PAVANELLI, 2001).

Segundo VIEIRA (1999), no caso do ferro, devido a sua baixa solubilidade em uma grande faixa de pH, é intuitivo que o mecanismo preponderante de remoção seja a coprecipitação.

Os hidróxidos gelatinosos de Al(OH)₃ e de Fe(OH)₃, por serem formados de partículas muito pequenas, possuem superfícies específicas muito grandes, daí o fenômeno de adsorção ser muito forte e contribuir para o arraste de grande quantidade de impurezas. A carga elétrica das suas superfícies depende do pH do meio. O Fe(OH)₃, por exemplo, em pH > 8,5 adquire carga elétrica predominantemente negativa, daí a possibilidade de adsorção e arraste de maior quantidade de cátions em solução. Em pH < 8,5, como a carga é predominantemente positiva, os ânions são, preferencialmente arrastados com os flocos em sedimentação.

Os hidróxidos metálicos insolúveis, como o Fe(OH)₃, dissolvem-se em ácidos para formar sais, porém, são insolúveis em meio básico. Na curva de solubilidade do Fe(OH)₃ (Figura 1), verifica-se que, em pH < 4,0, a concentração de OH⁻ no meio é insuficiente para precipitar completamente o Fe³⁺ (VIEIRA, 1999).

Na curva de solubilidade do Al(OH)₃ (Figura 1), verifica-se que o Al³⁺ não é completamente precipitado em pH < 5,0. A solubilidade do Al(OH)₃ tende a aumentar em pH de 7 a 9; que ora reage como base e ora como acido.

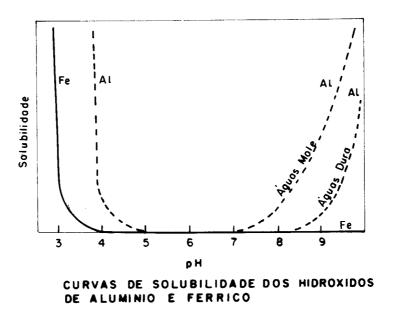


Figura 1: Solubilidade dos hidróxidos de alumínio e férrico Fonte: (Amirtharajah e Mills, 1972; citados por PAVANELLI, 2001)

2.5.3.3.3 Moringa

Em diferentes países dos continentes asiático, africano e sul-americano, várias plantas estão sendo ou foram utilizadas como coagulante ou floculante natural. O gênero Moringa destaca-se como sendo um dos mais promissores coagulantes naturais encontrados até o momento. A *Moringa oleifera* pertence à família Moringaceae, que é composta apenas de um gênero (Moringa) e quatorze espécies conhecidas. É um arbusto ou árvore de pequeno porte, de crescimento rápido, que alcança 12m de altura. A planta é conhecida por vários nomes comuns, de acordo com os diferentes usos. Para alguns, é conhecida como

baqueta, em razão da forma dos seus frutos que representam um alimento básico na Índia e na África. Em algumas partes do oeste da África, é conhecida como "a melhor amiga da mãe" como uma indicação de que a população local conhece muito bem todo o seu valor. A planta produz uma diversidade de produtos valiosos dos quais as comunidades locais fazem uso por centenas, talvez milhares de anos.

Os frutos verdes, folhas, flores e sementes torradas são altamente nutritivos e consumidos em muitas partes do mundo. O óleo obtido das sementes da Moringa pode ser usado no preparo de alimentos, na fabricação de sabonetes, cosméticos e como combustível para lamparinas. A pasta resultante da extração do óleo das sementes pode ser usada como um condicionador do solo, fertilizante ou ainda na alimentação animal. A Moringa pode ser facilmente propagada por sementes ou por estacas. As sementes podem ser plantadas diretamente no local definitivo ou em sementeiras. Não há necessidade de nenhum tratamento prévio. A planta requer poucos tratos culturais e cresce rapidamente até uma altura de 4 metros. no primeiro ano. A floração acontece geralmente no final da estação úmida, a perda das folhas ocorre no inicio do período seco. A produtividade em vagens da M.oleifera é muito variável e pode ser classificado em três grupos: vagens curtas comprimento das vagens de 15 a 25 cm; vagens médias, 25 a 40 cm e vagens longas de 50 a 90 cm. O número de vagens por árvore pode variar de 300 a 1600 e o número de sementes por vagens oscila entre 10 e 20 por vagem. O peso dos cotilédones tem grande variação de 180 a 320 mg. Em condições favoráveis, uma única planta pode produzir de 50 a 70 kg de frutos por ano. Possuem um alto conteúdo de proteína (27%) e são ricas em vitamina A e C, cálcio, ferro e fósforo.

A *Moringa oleifera* é uma planta tropical, cujas características, avaliadas em alguns estudos, a tornam recomendável como coagulante, sendo aconselhável utilizar sementes colhidas recentemente por que as propriedades floculantes das sementes podem diminuir com o tempo. Várias pesquisas no mundo mostraram que os cotilédones da semente de 6 espécies do gênero Moringa contêm propriedades de coagulação. Na tentativa de isolar o produto coagulante presente nas sementes, foram identificados 6 polipeptídios na *Moringa oleifera* e 9 na

Moringa stenopetala, de peso molecular entre 6 e 16.000 Daltons. Os aminoácidos detectados foram, majoritariamente, o acido glutâmico, a proline, a metionine, e a arginine (AL AZHARIA JAHN, 1986), entretanto, considera-se que o mecanismo da coagulação pelos polipeptídios seja, ainda, desconhecido.

As descobertas recentes do uso de sementes trituradas de *Moringa oleifera* para a purificação de água, a um custo de apenas uma fração do tratamento químico convencional, constitui uma alternativa da mais alta importância. O uso das sementes de Moringa como coagulante apresenta uma dupla vantagem: o efeito de tratamento físico (diminuição da turbidez) da água pela coagulação do material em suspensão e o efeito de tratamento biológico, com a eliminação de microrganismos patogênicos. Segundo AL AZHARIA JAHN (1986), com a dose adequada de extrato de sementes de moringa, é possível reduzir de 98 a 100% o número de coliformes fecais de águas brutas inicialmente fortemente turvas, chegando após a coagulação, a uma turbidez inferior a 10 UNT. Os mesmos autores afirmam que a água tratada com o coagulante preparado com extrato de sementes de Moringa não apresenta perigo para saúde humana.

NDABIGENGESERE et al., (1994), estudando os agentes ativos e dos mecanismos de coagulação de águas turvas usando *Moringa oleifera*, concluiu que esta planta é um efetivo coagulante natural e que sua ação como coagulante se deve à presença de proteínas catiônicas solúveis presentes na semente. Adsorção e neutralização são os principais mecanismos de coagulação e o volume de lodo gerado é consideravelmente menor do que no caso do alumínio. Entretanto, os autores vislumbram como um problema à disponibilidade de semente para um suprimento suficiente de produto.

A quantidade de sementes necessária para clarificar adequadamente a água aumenta com a sua turbidez, porém não existe uma relação sistemática entre turbidez e dose a ser aplicada, conforme mostrado nas experiências de Al Azharia Jahn, no Egito (REMI TRIER, 1995).

SILVA et al. (2001) estudaram a utilização de coagulantes naturais no tratamento de efluentes da industria têxtil, observaram que comparativamente aos coagulantes químicos utilizados, a *Moringa oleifera* é uma alternativa promissora no tratamento físico-químico de efluentes da industria têxtil, podendo ser

empregado como auxiliares de tratamento primário, elevando a eficiência dos decantadores. A *Moringa oleifera* requer para a formação de flocos um tempo maior, em torno de 90 a 120 minutos (AL AZHARIA JAHN, 1986).

2.5.4 Tratamento físico com filtros orgânicos

Dentre as formas alternativas de tratamento primário para remoção de poluentes presentes nas águas residuárias está a filtração. Além da remoção de sólidos em suspensão, o processo de filtração pode remover parte dos sólidos solúveis (STEEL e MCGHEE, 1979).

A ação mecânica de remoção dos sólidos em suspensão por filtração está baseada no princípio de que um meio poroso pode reter impurezas de dimensões maiores que os dos poros da camada filtrante. Ao entrar em operação, os vazios do meio filtrante vão, aos poucos, sendo obstruídos pelas partículas presentes na suspensão, proporcionando o aumento da perda de carga. Com a redução do diâmetro dos poros, ocorrerá a retenção de partículas de diâmetro cada vez menor (POVINELLI e MARTINS, 1973).

A água residuária da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro é muito rica em sólidos em suspensão e dissolvidos, por isso o uso de filtros convencionais de areia não são recomendáveis, dado à sua rápida colmatação superficial e ao impedimento ao fluxo normal da água residuária, tornando-se necessária à troca continua do material filtrante. Desta forma, a utilização de materiais orgânicos capazes de absorver solutos e reter sólidos em suspensão e que sejam subprodutos de atividades agropecuárias e industriais é uma opção interessante, devido a sua disponibilidade e baixo custo para aquisição (BRANDÃO, 2000).

Os benefícios do uso de filtros orgânicos são inegáveis, pois, além de proporcionar a depuração das águas residuárias, pode adquirir valor econômico, uma vez que o material orgânico, ao ser retirado do filtro, poderá ser compostado para produção de adubo orgânico (BRANDÃO, 2000; FEBRER, 2000 e MAGALHÃES, 2002).

Um meio filtrante ideal deve ser constituído de partículas de diâmetro e tipo de material, que venham a proporcionar melhorias significativas na

qualidade do efluente das colunas filtrantes e reter, o máximo possível de sólidos. Materiais filtrantes mais finos poderão gerar efluentes mais depurados, porém com maior perda de carga nas camadas superiores da coluna filtrante, proporcionando assim pequeno período de operação do filtro (MAGALHÃES, 2002).

Filtros com pequena taxa de filtração proporcionam maior eficiência na depuração da águas residuárias, contudo um menor volume filtrado; enquanto taxas de filtração altas resultam numa capacidade maior de filtragem do sistema com relação ao volume, porém com uma eficiência menor de remoção de poluentes.

Ao utilizar materiais orgânicos de diâmetro superior a 2,0 mm como material filtrante de águas residuárias de suinocultura, BRANDÃO et al., (2000) observaram a redução na concentração de ST e SP, atingindo a eficiência de remoção de 33% para ST, quando o material filtrante foi serragem de madeira, e eficiência de remoção superior a 90% para SP em todos os filtros utilizados.

LO MONACO (2001) encontrou maiores taxas de filtração da água residuária da suinocultura em filtros constituídos de serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar nas maiores faixas granulométricas de 2,0 a 2,8 mm, sendo que a serragem de madeira mostrou-se mais eficiente na remoção de DBO e DQO. Ainda segundo LO MONACO (2001), a serragem de madeira e o bagaço de cana-de-açúcar apresentaram eficiências de remoção de ST de 60 a 70% e quase 100% de SP.

MAGALHAES (2002), avaliando a capacidade de remoção de sólidos em suspensão e sólidos totais da água residuária da suinocultura (ARS) dos filtros de serragem de madeira e de bagaço de cana-de-açúcar, encontrou taxas de remoção de 90 a 99% de sólidos em suspensão e de 43 a 57% para sólidos totais e 81 a 96% para sólidos em suspensão e de 50 a 56% para sólidos totais, para os respectivos filtros.

Os filtros podem operar de forma intermitente ou contínua. A operação intermitente dos filtros possibilita, aparentemente, maior purificação e maior estabilidade no tratamento de águas residuárias, mas não há regras exatas entre o período de descanso e a operação do sistema (NIELSEN et al., 1993). Filtros

intermitentes, embora possam ter o período de operação mais prolongado que os contínuos, também devem ter seu material filtrante substituído.

Após a remoção do material orgânico filtrante, este poderá ser compostado para serem aproveitados como adubação orgânica na lavoura.

2.6 Qualidade do grão de café

A qualidade do grão de café como bebida depende de vários fatores como: a) composição química dos grãos, determinada por fatores genéticos, ambientais e culturais; b) os métodos de colheita, processamento e armazenamento; c) torração e preparo da bebida; sendo que os dois últimos modificam a constituição química dos grãos, alterações estas dependentes da sua composição original (SILVA, 1999). A classificação baseia-se no sabor detectado na prova da xícara, feita por degustadores treinados. GARRUTI e CONAGIN (1961) estabeleceram uma escala de valores para a avaliação da bebida do café, que é representada pela média de 160 determinações feitas por degustadores previamente selecionados e treinados durante três anos. Esta escala de valores e características organolépticas da bebida encontram-se apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação, características e valores numéricos dos resultados de degustação.

Classificação da bebida	Características organolépticas	Pontos
Estritamente mole	Bebida de sabor suavíssimo e adocicado	24
Mole	Bebida de sabor suave acentuado e adocicado	18
Apenas mole	Bebida de sabor suave, porém com leve adstringência	13
Dura	Bebida de sabor adstringente e gosto áspero	11
Riada	Bebida com leve sabor de iodofórmio ou ácido fênico	7
Rio	Bebida com sabor forte e desagradável lembrando o de iodofórmio ou acido fênico	1

Fonte: GARRUTI e CONAGIN (1961)

TEIXEIRA (1978) citado por NOGUEIRA (2001), relata que a prova da xícara surgiu no Brasil no início do século XX. No entanto, não se estabeleceu um critério uniforme para sua realização, havendo variações entre organizações e instituições públicas e privadas.

Embora reconhecendo que a determinação da qualidade de bebida seja passível de erros devido à discrepância do paladar, MÔNACO (1961) citado por NOGUEIRA (2001), afirma que não foi encontrada ainda uma outra solução em vista da complexidade dos vários fatores que interferem na qualidade do café. Segundo BARTHOLO et al., (1989), variando de bebida estritamente mole (qualidade superior) a rio zona (qualidade inferior). A qualidade de bebida pode apresentar nuanças de sabor, podendo ser, dentro da característica, "mole"muito encorpado, encorpado e sem corpo. Pode apresentar, ainda, leve cítrica ou acidez acética. Deve-se considerar, na apreciação da bebida, a possível ocorrência de gostos estranhos, tais como: gosto de terra, mofo, azedo, "chuvado", vinagrado, fermentado, enfumaçado e outros.

Segundo REIS (1972), CARVALHO e CHALFOUN (1985) e LACERDA et al., (1987), sob condições favoráveis (elevada umidade do ar prolongada durante a secagem) uma diversidade de microrganismos tais como leveduras, fungos e bactérias desenvolvem-se infectando os grãos. Estes microrganismos em seu desenvolvimento produzem suas próprias enzimas que agem sobre os componentes químicos da mucilagem, principalmente sobre os açúcares, fermentando-os e conseqüentemente dando origem a bebidas de pior qualidade.

2.7 Contaminação fúngica do fruto do cafeeiro

A produção de alimentos seguros e de alta qualidade tem sido uma exigência crescente do mercado consumidor e das agências de controle e fiscalização. Durante a produção, processamento, embalagem, transporte, armazenamento e consumo, qualquer alimento pode ser exposto a substâncias tóxicas e, ou, microrganismos. Raramente existe alguma forma de controle da contaminação primária de grãos, não sendo, por isso, possível garantir, com segurança, a completa ausência de contaminantes em grãos de café.

Historicamente, os grãos de café brasileiros sofrem restrições em sua comercialização, relativas a problemas de qualidade. Os mercados consumidores, principalmente do exterior, têm utilizado critérios de qualificação dos grãos que, normalmente conferem qualidade inferior ao produto nacional.

Um aspecto importante observado no processamento dos frutos do cafeeiro é a contaminação microbiológica. Alguns autores salientam a importância das boas práticas agrícolas e de higienização no processamento dos frutos do cafeeiro (SOUZA, 1996; SILVA et al.,2001; MACHADO et al.,2003).

As boas práticas agrícolas e boas práticas de fabricação são procedimentos necessários para controlar as possíveis fontes de contaminação e para garantir que o produto atenda às especificações de qualidade. Elas incluem aspectos que vão desde as condições de produção até as instalações de beneficiamento e armazenamento,

Os trabalhos relacionados com a microbiota presente nos grãos e sua interferência na composição química dos grãos de café e, consequentemente, na produção de padrões inferiores de bebida, foram iniciados por BITANCOURT (1957). Para PIMENTA e VILELA (2000), a qualidade dos grãos de café é determinada pelas fermentações favoráveis ou desfavoráveis, que ocorrem no grão, sendo as reações enzimáticas responsáveis pela boa ou má qualidade da bebida. A contaminação dos grãos de café e o desenvolvimento de microrganismos (fungos e bactérias) podem contribuir positiva ou negativamente a qualidade dos grãos de café, deste modo torna-se necessária à caracterização microbiológica como uma forma de compreender e predizer os efeitos de técnicas de pré-processamento em relação à qualidade final do café.

Pesquisas como as de MEIRELLES (1990), ALVES (1996), confirmaram a relação entre ataque de microrganismos e qualidade de bebida e justificam a obtenção de bebidas de qualidade inferior, obtidas de grãos produzidos em algumas regiões de condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos, nas fases pré e pós colheita bem como nos grãos de café preparados para consumo.

Dessa forma, levantamentos efetuados em amostras de grãos de café, quanto à presença de micotoxinas (aflatoxinas, esterigmatocistina, ocratoxina A, citrinina e patulina) demonstraram que a freqüência de contaminação é extremamente baixa e, quando a toxina é encontrada, o nível de contaminação é baixo (LEVI, 1980).

SILVA et al., (2000), observaram que no processamento por via úmida, as condições anaeróbias da fase de fermentação, associadas à temperatura relativamente baixa e o substrato com apenas a mucilagem, concentram atividade microbiana principalmente na produção de pectinases. No processamento via seca com secagem ao sol, a fermentação da polpa e das cascas faz com que o substrato torne-se mais complexo, podendo ocorrer ainda um aumento na contaminação devido ao reumedecimento causado por chuvas ocasionais ou umidades relativas elevadas, altas temperaturas e condições aeróbias. Sendo a fermentação rápida altamente desejável, o conhecimento da diversidade microbiológica típica do processamento via seca pode ser utilizado como parâmetro na adequação de práticas de pré-processamento que favoreçam a obtenção de qualidade no grão.

JOOSTEN et al., (2001), avaliaram a produção de ocratoxina A (OTA) por *Aspergillus carbonarius* em frutos tipo cereja, variedade robusta, originários da Tailândia. Observaram, também, em laboratório, que grandes quantidades de OTA podem ocorrer nos frutos cereja, sob atmosfera controlada e saturada em água. Em temperaturas de 20-30 °C, o acúmulo de OTA foi considerável, mas sob 35 °C, os níveis obtidos foram baixos.

A contaminação do fruto do cafeeiro com fungos pode ocorrer no terreiro ou na maquinaria, sendo maiores os riscos quando há recirculação da água no beneficiamento dos frutos. Dentre as espécies de fungos associados com o café estão incluídos os gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*. A infecção do fruto do cafeeiro por fungos resulta em perda da qualidade do grão de café e formação da OTA, um metabólico fúngico com o nome derivado do patógeno *Aspegillus ochraceus*. A presença de OTA nos grãos está associada a nefropatia, que tem sido considerada substância cancerígena para os humanos (CHERNICHARO, 2001).

Levantamentos efetuados em amostras de grãos de café quanto à presença de micotoxinas (aflatoxinas, esterigmatocistina, ocratoxina A, citrinina e patulina) demonstraram que a freqüência de contaminação é extremamente baixa e, quando encontrada, o nível de contaminação com a toxina é, também baixo (LEVI, 1980). Uma das razões atribuídas a esse baixo nível de contaminação é o

efeito inibidor da cafeína sobre o desenvolvimento de fungos toxigênicos e sobre a produção de micotoxinas (HOOVER e JONES 1983).

Ainda que as concentrações de substâncias tóxicas produzidas pela ocratoxina A sejam encontradas em concentrações muito baixas nos grãos de café, em recente encontro entre países produtores e consumidores de café em Nairobi, no Kênia, discutiu-se a situação atual da ocorrência dessas toxinas em grãos de café verdes. As autoridades reguladoras da União Européia (UE) sugeriram um limite de 5 μg.kg⁻¹ para a concentração dessas toxinas, o que obviamente passa a ser um problema a mais para a exportação de café verde pelos países produtores, dentre eles o Brasil. Dessa forma, o desenvolvimento de técnicas que vislumbrem maior controle na contaminação de grãos de café com fungos é fundamental para conquista de novos mercados e a manutenção do atual mercado comprador.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em três ensaios independentes, realizados em laboratório. No primeiro ensaio foi utilizado o aparelho "jar-test" para a determinação da dosagem de agente floculante a ser adicionada e a faixa de pH mais adequada para a coagulação da água de recirculação no processo de despolpa dos frutos do cafeeiro (ARDC). No segundo ensaio, a ARDC recebeu diferentes agentes coagulantes, em concentrações e em pH onde se observou melhor resultado no "Jar-test", para realização do ensaio em coluna de sedimentação. No terceiro ensaio, utilizando-se as condições mais adequadas para a floculação dos sólidos em suspensão na ARDC, foi avaliada a eficiência do sistema na clarificação da água em recirculação no processo de beneficiamento dos frutos do cafeeiro.

3.1 - Ensaio com coagulante utilizando "Jar-test" (Primeiro Ensaio)

Para a realização deste ensaio, a ARDC, obtida após a recirculação, por 5 vezes, no processo de beneficiamento dos frutos do cafeeiro, foi coletada na Fazenda Laje, localizada no Município de Viçosa, MG, sendo transportada em galões de 50 L e armazenada por um tempo máximo de dois dias em câmara fria a 10°C.

Os agentes coagulantes utilizados foram: sulfato férrico - $Fe_2(SO_4)_3$, sulfato ferroso clorado - $FeSO_4$ +HCl, cloreto férrico - $FeCl_3.6H_2O$, sulfato de alumínio - $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ e uma solução preparada com extrato de sementes de moringa. As concentrações utilizadas foram: 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 g L⁻¹.

No caso da solução preparada com extrato de sementes de moringa, as doses utilizadas foram: 0; 10; 20; 30, 40, 50 e 60 mL L⁻¹, obtidos a partir de uma solução estoque preparada na proporção de 1 semente macerada em liquidificador para cada 10 mL de água.

O pH da solução em teste foi alterado, utilizando-se o hidróxido de sódio (NaOH), na concentração de 0,3 mol L⁻¹, sendo avaliadas as faixas de 4,0 a 5,0, 5,0 a 6,0, 6,0 a 7,0 e 7,0 a 8,0.

As suspensões foram acondicionadas em béquer de 500 mL e colocadas no aparelho "Jar-test", por 10 segundos após adição do coagulante, na rotação de 160 rpm, que foi a velocidade máxima conseguida pelo aparelho de "Jar-test", o que representa um gradiente de velocidade de aproximadamente 340 s⁻¹, sob a temperatura de 25°C. Após decorrido o tempo de 10 segundos, a rotação das pás foi reduzida para 20 rpm, permanecendo nesta condição por mais 5 minutos. Desligou-se o aparelho e aguardou-se 15 minutos para sedimentação dos flocos formados, exceção ao coagulante moringa onde de acordo com literatura pesquisada deve-se aguardar de 90 a 120 minutos, sendo que neste caso optou-se por 90 minutos. Monitorou-se a temperatura da ARDC durante os ensaios e mediu-se o pH inicial e final da suspensão.

A clarificação da suspensão foi avaliada com a determinação da turbidez inicial e final, após a sedimentação, do líquido, utilizando-se para isso um turbidímetro de bancada.

O ensaio foi montado seguindo um esquema fatorial 5x7x4 (5 coagulantes em 7 concentrações e 4 faixas de pH) no delineamento inteiramente casualizado, com 3 repetições. Foram realizadas análises estatísticas de variância e de superfície de resposta, onde os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão utilizando o teste de t ao nível de 1% de probabilidade, utilizou-se o programa STATISTICA e SAEG.

3.2 - Ensaio com a coluna de sedimentação

Para avaliação da velocidade de sedimentação dos sólidos ou flocos em suspensão e da clarificação da suspensão com o tempo, foi realizado o ensaio em coluna de sedimentação de acrílico, de 100 mm de diâmetro e 1 metro de altura.

O preenchimento da coluna de sedimentação com a ARDC foi feito de forma a se manter, inicialmente, a concentração de sólidos suspensos uniformemente distribuída ao longo da mesma, sendo para isso, realizada a homogeneização da amostra. Os coagulantes sulfato de alumínio e sulfato férrico foram adicionados à ARDC, na concentração de 3 g.L⁻¹, para faixa de pH de 7 a

8 (condição de concentração e pH mais adequadas à coagulação com estes sais, conforme os resultados obtidos no ensaio anterior), na forma de queda livre, para uma altura de aproximadamente 0,5 m em relação ao nível do líquido contido no recipiente, objetivando causar turbulência no mesmo, ou seja, uma mistura rápida. Após sua adição à ARDC, uma mistura lenta do coagulante foi realizada manualmente, utilizando-se, para isso, um bastão de vidro. O bastão de vidro foi movimentado numa velocidade média de 20 rpm, com o objetivo de facilitar a formação dos flocos no meio líquido. No caso do uso do extrato de sementes de moringa como coagulante, foi avaliada a dose de 10 mL L⁻¹, na faixa de pH de 4 a 5 (condição de dose e pH mais adequados para a coagulação com esta solução, conforme os resultados obtidos no ensaio anterior).

A coleta de amostras da suspensão em estudo foi realizada a cada 200 mm, por meio de torneiras instaladas nas paredes da coluna de sedimentação. A foto abaixo se refere à coluna de sedimentação utilizada nos ensaios.



Figura 2- coluna de sedimentação em acrílico utilizada para determinação dos sólidos em suspensão em função do tempo.

A determinação da concentração de sólidos em suspensão nas amostras de 10 mL, coletadas, de cima para baixo, ao longo da coluna, no tempo zero em

intervalos de tempos regulares de 20 minutos, durante 2 horas ininterruptas de ensaio.

A concentração de sólidos em suspensão nas amostras coletadas foi determinada filtrando-se a amostra em funil acoplado kitassato com mangueira plástica conectada a bomba de vácuo. O filtro de separação utilizado foi de papel filtro de fibra de vidro Whatman de 0,45 μm de diâmetro de poro (APHA, 1996). Terminada a filtração de toda a alíquota, o filtro foi secado em estufa, a 105-110°C, por 2 horas e pesado em balança de precisão, sendo a concentração de sólidos em suspensão determinada utilizando-se a seguinte equação:

$$SS = (M_{FD}-M_{FA}) \times 1000/V_{am}$$
 Eq. (30)

Em que,

SS – sólidos suspensos, mg.L⁻¹.

 M_{FD} - massa do conjunto funil-filtro após a filtragem (estufa $103-105^{\rm o}{\rm C}$,) mg.

 M_{FA} - massa do conjunto funil-filtro antes da filtragem (estufa $103-105^{\circ}\text{C}$), mg.

V_{am} – volume da amostra, mL.

O cálculo das porcentagens de remoção de sólidos em suspensão (determinado em relação à amostra coletada no tempo zero, logo após a homogeneização da suspensão na coluna) com o tempo de sedimentação foi obtido segundo a metodologia apresentada por RAMALHO, 1996.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utillizou-se o programa Sistema de Análise Estatística e Genética – SAEG/UFV – 1999.

3.3 Avaliação do sistema de tratamento da água em recirculação durante a despolpa dos frutos do cafeeiro.

Os melhores resultados obtidos para cada coagulante, no ensaio com o "Jar-test" foram utilizados para o tratamento da ARDC em sistema constituído por sedimentador e filtro orgânico, sendo avaliada a eficiência do sistema na

remoção de sólidos em suspensão. Para que isso fosse possível, foi construído um protótipo do referido sistema.

O protótipo do sistema foi construído em acrílico, em dimensões reduzidas, mas com proporção de escala, sendo constituído por um reservatório, um canal com grade e vertedor triangular (para medição da vazão e facilitar a mistura do agente floculante com a ARDC), tanque de floculação/sedimentação e filtro orgânico, conforme esquema apresentado na Figura 2.

Para proporcionar a geração da suspensão que seja proveniente do processamento de frutos do cafeeiro e que esteja em recirculação, ou seja, a ARDC, um despolpador manual com capacidade para processamento de pequenas quantidades de frutos do cafeeiro foi acoplado ao sistema. Foram processados 5 lotes de frutos do cafeeiro, sendo que cada lote processado com a mesma água representou uma recirculação da mesma. A ARDC produzida foi recirculada utilizando-se uma bomba hidráulica, cuja vazão (0,05 m³.h¹) foi regularizada por meio de um registro.

O tanque de sedimentação, construído de forma retangular e com dimensões estabelecidas com base em recomendações da NB-570 (ABNT, 1990), sendo 12 cm de altura, 24 cm de largura e 72 cm de comprimento, operou com um tempo de detenção hidráulica de 15 minutos, exceto para o extrato de semente de moringa que foi de 90 minutos.

Os coagulantes e o NaOH (adicionado à suspensão para alteração do pH) foram aplicados com o auxílio de dosadores, instalados no vertedor triangular e na grade, respectivamente.

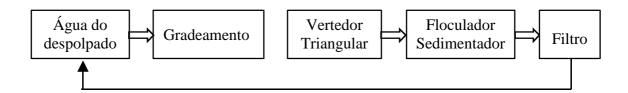


Figura 3 – Fluxograma do sistema utilizado no tratamento da água residuária da despolpa do fruto do cafeeiro (ARDC).



Figura 4 –Vista parcial do protótipo do sistema utilizado para tratamento da ARDC.

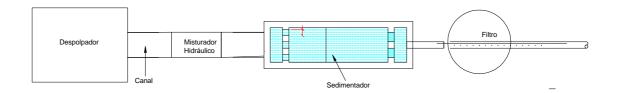


Figura 5 – Planta baixa do sistema de tratamento físico e físico-químico da ARDC.

Na Figura 4 está apresentada uma vista lateral do protótipo em acrílico utilizado nos ensaios e, na Figura 5, a planta baixa do sistema de tratamento físico e físico-químico da ARDC.

O material utilizado no filtro orgânico foi o pergaminho do grão de café beneficiado, com granulometria na faixa de 2,0 a 3,0 mm. Para obtermos o material filtrante na granulometria entre 2 e 3 mm na camada intermediaria de 4,0 cm, o pergaminho do grão de café foi triturado em triturador mecânico e peneirado manualmente com um jogo de peneiras para obtermos a granulometria desejada. A camada inferior e superior com o pergaminho de café na granulometria natural, perfazendo uma altura de camada filtrante de 8,0 cm. No fundo da coluna filtrante foi inserida uma tubulação de 20 mm de diâmetro, com furos de 3 mm de diâmetro, para captação da água filtrada. A taxa de filtração utilizada foi de 0,5 L m⁻²s⁻¹.

Os agentes coagulantes sulfato ferroso clorado e cloreto férrico, avaliados no ensaio do "Jar-test", foram descartados nessa etapa, tendo em vista a possibilidade de formação de organoclorados com a água residuária rica em material orgânico.

Análises químicas e bioquímicas foram efetuadas no afluente e no efluente dos tanques de sedimentação e no efluente do filtro orgânico, e compreenderam a determinação do pH, DBO₅ e DQO. As análises físicas compreenderam a determinação da condutividade elétrica (CE), sólidos totais (ST), sólidos em suspensão (SS), sólidos sedimentáveis (SP) e da turbidez.

As determinações de DBO₅²⁰ e de DQO foram realizadas seguindo a metodologia apresentada no Standard Methods (APHA, 1998), sendo a DBO₅ obtida pela determinação do oxigênio dissolvido pelo método iodométrico e, a DQO, pelo método do refluxo aberto. Para determinação da condutividade elétrica (CE), utilizou-se o condutivímetro, as análises físicas compreenderam as determinações de sólidos sedimentáveis (SP), determinado em cone de Imhoff, sólidos totais (ST), após secagem em estufa a 110°C por 24 horas e sólidos em suspensão (SS), a metodologia apresentada por APHA (1998). O pH das amostras foi determinado com o auxílio do medidor de pH. A turbidez foi determinada com o turbidímetro.

3.4 Avaliação da contaminação fúngica

Os grãos foram secados em terreiro suspensos até ser reduzida a sua umidade para 11%, determinada pelo método do EDABO (evaporação de água em banho de óleo), quando então foram enviados para avaliação da contaminação fúngica, realizada no Laboratório de Fitopatologia da UFV.

3.5 Avaliação da qualidade da bebida

Posteriormente o grão foi beneficiado e enviado para análise de qualidade de bebida realizada pela empresa INCOFEX, localizada em Viçosa, MG, onde foi feita a prova da xícara por degustadores da empresa.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Determinação da concentração e dosagem de coagulantes e do pH da água residuária do fruto do cafeeiro em ensaio com o aparelho "Jar-test"

A determinação da concentração e dose de coagulantes e o pH que maximizam a remoção de sólidos suspensos da ARDC é fundamental para o tratamento adequado da mesma visando sua recirculação em sistemas de beneficiamento de frutos do cafeeiro.

De acordo com a Tabela 4, verificou-se que foi significativo, a 1% de probabilidade, a variável pH e das interações pH x coagulante, pH x concentração e pH x coagulante x concentração.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância das concentrações e do pH dos coagulantes no teste Jar-test.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
COAG	4	61337,50 ^{NS}
RESÍDUO (a)	10	4,20
CONCENTRAÇÃO	6	615743,0 ^{NS}
CONCENTRAÇÃO *COAG	24	28523,87 ^{NS}
RESÍDUO(b)	60	2,48
PH	3	4834,34**
pH*COAG	12	9486,71**
pH* CONCENTRAÇÃO	18	1625,54**
PH* CONCENTRAÇÃO *COAG	72	1391,60**
RESÍDUO	210	4,30
CV(%) parcela		2,35
CV(%) subparcela		1,80

^{**} F significativo a 1% de probabilidade.

Na Tabela 27 se encontram os valores obtidos para a turbidez após os teste realizado em "Jar-test".

NS F não-significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 27 – Dados referentes ao Jar-test realizado para cada coagulante nas dosagens de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 g L⁻¹ e para o extrato de semente de moringa nas dosagens de 0,5, 10,15,20,25 e 30 mL L⁻¹ e o pH nas faixas de 4 a 5,5 a 6,6 a 7 e 7 a 8.

Coagulante	pН									
Cloreto Férrico	4,27	5,27	6,33	7,27						
Dose (g L ⁻¹)	TUR (UTN)	TUR (UTN)	TUR (UTN)	TUR (UTN)						
0,0	540,77	541,30	541,31	541,31						
0,5	89,33	105,21	66,40	58,35						
1,0	94,50	77,25	54,20	19,61						
1,5	107,57	64,06	27,40	14,96						
2,0	70,80	34,51	38,39	15,99						
2,5	68,07	38,81	33,21	24,91						
3,0	42,21	28,81	16,33	13,11						
Coagulante		1	рΗ	_						
Sulfato de Alum	ínio 4,27	5,27	6,33	7,27						
Dose (g L ⁻¹)	TUR (UTN)	TUR (UTN)	TUR (UTN)	TUR (UTN)						
0,0	250,07	253,30	251,53	248,97						
0,5	50,00	45,69	42,31	54,74						
1,0	40,03	44,43	67,14	25,16						
1,5	42,40	35,30	66,07	32,31						
2,0	48,21	53,22	42,50	26,51						
2,5	40,60	29,70	39,61	16,21						
3,0	44,60	44,60 31,71 34,30								
Coagulante		pН								
Sulfato Férrico	4,27	5,27	6,33	7,27						
Dose $(g L^{-1})$	TUR (UTN)	TUR (UTN)	TUR (UTN)	TUR (UTN)						
0,0	250,60	248,20	250,73	248,93						
0,5	61,44	18,73	81,83	22,76						
1,0	44,52	15,02	67,70	16,48						
1,5	48,60	26,31	17,63	35,22						
2,0	42,31	21,90	12,79	26,51						
2,5	37,20	16,21	18,15	16,21						
3,0	31,50	14,95	16,29	13,01						
Coagulante		pН								
Sulfato Ferroso										
Clorado	4,27	5,27	6,33	7,27						
Dose (g L ⁻¹)	TUR (UTN)	, ,	·	TUR (UTN)						
0,0	266,90	266,90	266,90	266,33						
0,5	78,91	74,01	118,57	99,94						
1,0	52,31	26,44	99,53	22,63						
1,5	28,43	22,69	32,40	29,24						
2,0	21,91	15,64	28,30	33,63						
2,5	19,50	16,06	28,20	15,84						
3,0	19,15	22,79	25,91	13,16						
Coagulante			рΗ							
Extrato de semen	nte 4,27	5,27	6,33	7,27						

de Moringa

Dose (mL L ⁻¹)	TUR (UTN)	TUR (UTN)	TUR (UTN)	TUR (UTN)
0	266,90	266,93	266,90	266,90
5	27,26	119,11	143,58	101,22
10	16,92	76,52	147,22	103,10
15	26,30	79,42	156,11	110,93
20	27,36	82,90	139,28	104,31
25	29,04	58,51	151,02	108,48
30	41,98	163,04	148,70	111,73

TUR - turbidez da ARDC

Nas Figuras 6, 7, 8, 9 e 10 estão apresentadas as superfícies de resposta e equações de ajustadas da turbidez em função do pH e da concentração de cloreto férrico (6), sulfato de alumínio (7), sulfato férrico (8), sulfato ferroso clorado (9) e da dose de extrato de semente de moringa (10) no aparelho "Jar – test".

$$\hat{T} = 111,8131 - 14,6223*pH + 1 / (0,031955*C + 0,001947)$$
 $R^2 = 0.99$

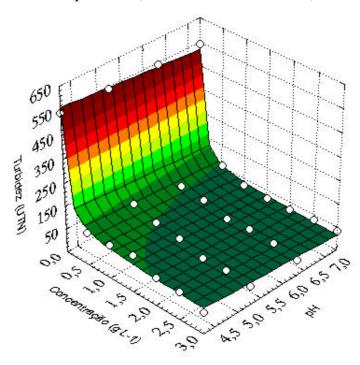


Figura 6 – Superfície de resposta e equação ajustada da estimativa da turbidez em função da concentração e do pH do coagulante cloreto férrico.

$$\hat{T} = 52,74901 - 3,395976*pH + 1/(0,1068787*C + 0,0045922)$$
 $R^2 = 0,98$

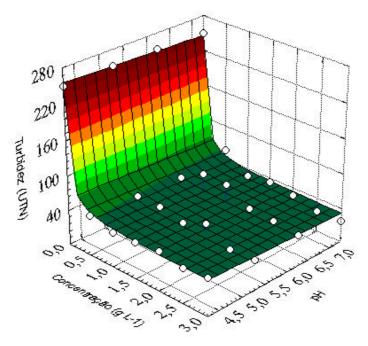


Figura 7 – Superfície de resposta e equação ajustada da estimativa da turbidez em função da concentração e do pH do coagulante sulfato de alumínio.

$$\hat{T} = 41,373696 - 4,51809 * pH + 1/(0,0525797 * C + 0,0042695)$$
 $R^2 = 0,96$

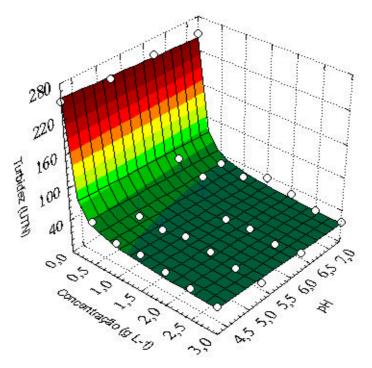


Figura 8 - Superfície de resposta e equação ajustada da estimativa da turbidez em função da concentração e do pH do coagulante sulfato de férrico.

$$\hat{T} = 18,50367 - 1.85209 * pH + 1/(0,0132157 * C + 0,0036397)$$
 $R^2 = 0,96$

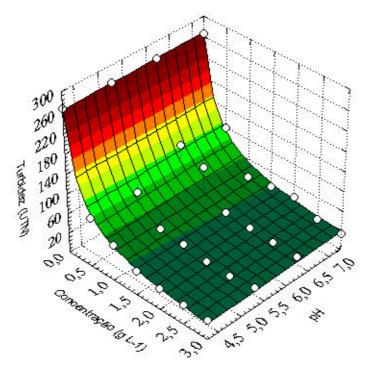


Figura 9 - Superfície de resposta e equação ajustada da estimativa da turbidez em função da concentração e do pH do coagulante sulfato de ferroso clorado.

$$\hat{T} = 117,0746+181,6916 \exp(-D)-5847,99 \exp(-pH)$$
 $R^2 = 0.80$

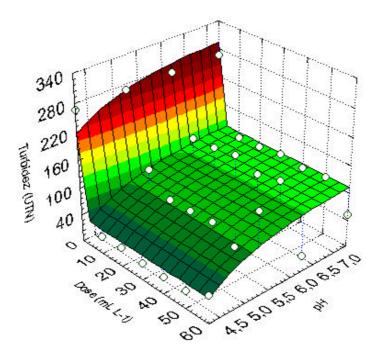


Figura 10 - Superfície de resposta e equação ajustada da estimativa da turbidez em função da dose e do pH do coagulante extrato de semente de moringa.

Modelos que proporcionaram melhores ajustes aos dados de turbidez em função da concentração e do pH quando utilizados os coagulantes cloreto férrico, sulfato de alumínio, sulfato férrico e sulfato ferroso clorado, sendo que, em relação ao pH, o ajuste foi diretamente proporcional e, em relação à concentração, o ajuste foi inversamente proporcional. O modelo exponencial foi o que melhor representou a relação entre os dados de turbidez em relação ao pH e a dose do coagulante extrato de semente de moringa.

Analisando-se as Figuras 6, 7, 8, 9 e 10, pode-se observar que, para o sulfato ferroso clorado, sulfato de alumínio, sulfato férrico e cloreto férrico, com o aumento da concentração do coagulante, até uma concentração máxima de 3 g L⁻¹, houve maior remoção de sólidos suspensos, quando o pH é mantido constante. Em relação ao pH, o sulfato férrico, o sulfato de alumínio e o cloreto férrico proporcionaram maiores remoções de sólidos na faixa de 7 a 8, enquanto que, no caso do sulfato ferroso clorado, os melhores resultados foram obtidos na faixa de 4 a 5. A faixa de pH que proporcionou as maiores remoções de sólidos em suspensão com a adição do coagulante cloreto férrico coincidem com o que está apresentado em trabalhos publicados por outros pesquisadores (SEMMENS et al., (1980); DEMPSEY et al., (1995); JACANGELO et al, (1984)).

Em relação ao extrato de semente de moringa, observou-se maior eficiência na remoção de SS com a dose de 10 mL L⁻¹ e pH na faixa de 4 a 5, obtendo-se eficiências de remoção de SS acima de 90%, discordando de REMI TRIER,(1995) que afirma, não ter o pH influência na atuação do extrato de semente de moringa como coagulante.

4.2 – Coluna de sedimentação

Na Tabela 5 encontra-se o resumo da análise de variância dos sólidos suspensos na ARDC colocada na coluna de sedimentação. Verifica-se que houve efeito (P<0,01) para todas as fontes de variação.

O tipo de coagulante utilizado proporcionou efeito significativo na concentração de sólidos em suspensão na ARDC, indicando a possibilidade de

uso de coagulantes e de um melhor desempenho de um em relação aos outros na remoção de sólidos em suspensão da ARDC.

Em vista dos resultados obtidos na análise de variância, procedeu-se o desdobramento da interação T x P x C.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância dos sólidos suspensos na ARDC colocada na coluna de sedimentação

FV	GL	Quadrado Médio
COAG(C)	3	2406,1780**
RESIDUO (a)	8	2,3359
PROFUNDIDADE (P)	3	643,4253**
PXC	9	401,1781**
RESIDUO (b)	24	0,8441
TEMPO (T)	6	276,2484**
ТХС	18	106,8288**
ТХР	18	55,9601**
ТХРХС	54	39,1447**
RESIDUO (c)	192	0,4563
CV(%) parcela		7,01
CV(%) subparcela		4,21
CV(%) subsubparcela		3,09

^{**} F significativo a 1% de probabilidade.

Os modelos que melhor se ajustaram aos dados de concentração de sólidos em suspensão em função do tempo e da profundidade, para cada coagulante estudado, estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Equações de regressão ajustadas para a variável sólidos suspensos em função da profundidade e do tempo, para os diferentes coagulantes estudados

Coagulante	Equações ajustadas	\mathbb{R}^2
Sem coagulante (C1)	$\hat{y} = 29.36$	-
Sulfato de alumínio (C2)	$\hat{y} = 19.495 + 0.0077315^{NS} P - 0.2117^{**} T + 0.003279^{**} T.P$	0.7183
Sulfato férrico (C3)	$\hat{y} = 24.7273 + 0.004115^{**}P - 0.3051^{**}T + 0.003648^{**}T.P$	0.8494
Extrato de sementes de	$\hat{y} = 26.309 + 0.0052381^{*}P - 0.1816^{**}T + 0.001109^{**}T^{2}$	0.7167
Moringa (C4)		

^{**} significativo em nível de 1% de probabilidade, pelo teste "t"

Em relação ao comportamento da ARDC colocada nas colunas de sedimentação sem a adição de coagulantes (C1), não se verificou nenhum efeito do tempo e da profundidade na coluna na remoção de sólidos suspensos. Para as equações ajustadas para os dados de sólidos em suspensão em função da profundidade e do tempo de decantação, a ARDC que recebeu sulfato de alumínio (C2) e na que recebeu sulfato férrico (C3) observou-se que ao ser fixada a profundidade, há decréscimo da concentração de sólidos suspensos com aumento do tempo e, analogamente, se for fixado o tempo, ocorre aumento da concentração de sólidos suspensos com o aumento da profundidade.

Nas figuras referentes aos ensaios nas colunas de sedimentação (Figuras 11, 12, 13 e 14), pode-se determinar a eficiência de remoção de sólidos suspensos nas profundidades 20, 40, 60 e 80 cm, da ARDC em repouso.

Na Figura 11 pode-se verificar que, a 20 cm de profundidade, houve aumento na remoção de sólidos suspensos no decorrer do tempo, chegando-se a valores de 70%, quando utilizado o sulfato de alumínio como coagulante. A remoção de sólidos em suspensão foi de 84% para o sulfato férrico e 88% para o extrato de semente de moringa. Na ARDC que não recebeu coagulante ocorreu, porém, aumento na concentração de sólidos suspensos no ponto de coleta, em razão do acúmulo de sólidos nesta camada.

^{*} significativo em nível de 5% de probabilidade, pelo teste "t"

NS não significativo em nível de 5% de probabilidade, pelo teste "t".

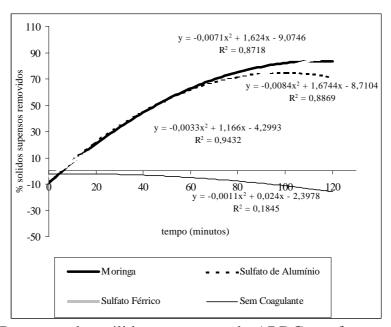


Figura 11 - Remoção dos sólidos suspensos da ARDC em função do tempo na camada de 20 cm de profundidade da coluna de sedimentação, para os coagulantes: sulfato férrico, extrato de semente de moringa, sulfato de alumínio e ARDC sem coagulante.

Na Figura 12 pode-se observar que, na profundidade de 40 cm da coluna de sedimentação, o sulfato férrico foi o coagulante mais eficiente na remoção de sólidos suspensos, tendo-se obtidas eficiências em torno de 80%, seguido do extrato de semente de moringa, com 78% e sulfato de alumínio, com 60%. A ARDC sem coagulante seguiu a mesma tendência observada na profundidade de 20cm, comprovando-se que os sólidos suspensos na água proveniente do processamento dos frutos do cafeeiro por via úmida, não sedimentam sem a ação de coagulantes. Na ARDC há a formação de uma mucilagem, com partículas de baixa densidade que, acredita-se, não se agruparem devido à predominância de cargas superficiais negativas, proporcionando sua repulsão e, com isso, impedindo a formação de flocos de maior densidade e tamanho. Houve concentração do material particulado em uma zona intermediária da coluna, não tendo sido observado flotação ou mesmo decantação de sólidos em suspensão na ARDC.

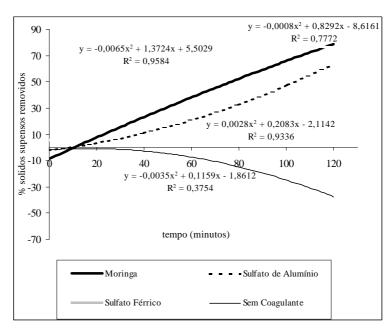


Figura 12 - Remoção dos sólidos suspensos da ARDC, em função do tempo, na camada de 40 cm de profundidade da coluna de sedimentação, para os coagulantes: sulfato férrico, sulfato de alumínio, extrato de semente de moringa (moringa), e ARDC sem coagulante.

A 60 cm de profundidade (Figura 13), a ARDC colocada nas colunas que receberam o extrato de semente de moringa e o sulfato férrico, apresentaram as maiores remoções de sólidos em suspensão, atingindo 70 e 50%. respectivamente. O sulfato de alumínio, ao contrário, proporcionou aumento na concentração de SS, em razão do acúmulo de partículas provenientes das camadas sobrejacentes da ARDC. A curva ajustada aos dados obtidos de remoção de SS com o tempo foi, para o sulfato férrico, uma parábola de concavidade para cima, mostrando que, até aproximadamente 60 minutos do início do ensaio, ocorreu concentração de sólidos suspensos na camada de 60 cm da coluna de sedimentação e que, após 60 minutos, houve inversão e, consequentemente, redução da concentração de sólidos suspensos. Este fenômeno pode estar relacionado à velocidade de sedimentação dos flocos formados após a adição do coagulante. Em relação a ARDC sem coagulante, houve remoção de, aproximadamente, 10 % ao final de 120 minutos de ensaio.

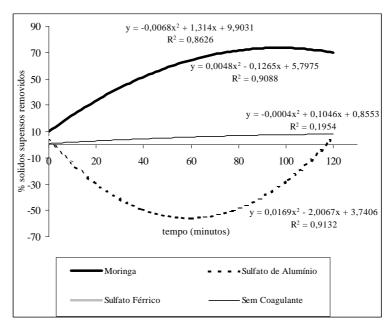


Figura 13 - Remoção dos sólidos suspensos da ARDC, em função do tempo, na camada de 60 cm de profundidade da coluna de sedimentação, para os coagulantes: sulfato férrico, extrato de semente de moringa (moringa), sulfato de alumínio e ARDC sem coagulante

A 80 cm de profundidade da ARDC em ensaio na coluna de sedimentação, apenas o extrato de semente de moringa proporcionou remoção dos sólidos suspensos, com eficiência de 90%, aproximadamente, após 120 minutos de ensaio, tendo sido observado, inclusive, a formação de uma camada de lodo adensado no fundo da coluna de sedimentação. Na curva de remoção de SS da ARDC com o tempo, verificou-se que nas colunas que receberam sulfato de alumínio ocorreu acréscimo na concentração de sólidos suspensos com o decorrer do tempo, chegando-se a obter valores de concentração 30% maiores. A tendência de concentração de partículas, tal como verificado na camada imediatamente acima (60 cm), confirma a lentidão na decantação dos flocos formados nas camadas superficiais da ARDC. Em relação a ARDC sem coagulante, observou-se a mesma tendência do ocorrido a 60cm de profundidade, com uma remoção de cerca de 10 % nos sólidos em suspensão ao final de 120 minutos. A curva ajustada aos dados de remoção de SS da ARDC que recebeu sulfato férrico teve o ponto de máximo ao final de 60 minutos. Após este tempo, observou-se inversão e concentração de sólidos suspensos na camada de 80 cm de profundidade da coluna de sedimentação, o que pode ser justificado com base na velocidade de sedimentação das partículas na coluna. Neste caso, houve sedimentação e, com isso, concentração de sólidos em suspensão nas maiores profundidades da coluna, à medida que o tempo foi passando.

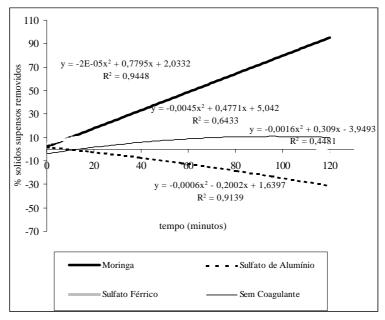


Figura 14 - Remoção dos sólidos suspensos da ARDC, em função do tempo, na camada de 80 cm de profundidade da coluna de sedimentação, para os coagulantes: sulfato férrico, extrato de semente de moringa, sulfato de alumínio e ARDC sem coagulante

Na Tabela 7 estão apresentados os valores médios de concentração de sólidos em suspensão em função da profundidade, tempo e tipo de coagulante. Quando se foi avaliada a concentração de sólidos suspensos em função do tipo de coagulante, fixando-se a profundidade e o tempo, foram obtidas as maiores médias de concentração de sólidos em suspensão, para todos os tempos, nas profundidades de 20 e 60 cm, na ARDC sem coagulante, quando comparada às obtidas nos tratamentos em que a ARDC recebeu coagulantes.

Tabela 7 - Valores médios de concentração sólidos suspensos (mg L⁻¹) obtidos na coluna de sedimentação em função da profundidade, tempo e do coagulante

Tempo	Prof – 20cm				Prof – 40cm			Prof – 60cm			Prof – 80cm					
minutos	C1	C2	C3	C4	C1	C2	С3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
0	28A	20C	28A	26B	27B	18C	28B	31A	30A	18D	28B	26C	32A	18C	29A	28B
20	31A	20B	20B	21B	30A	17C	20B	18C	31A	22B	19C	23B	25B	18D	30A	21C
40	26A	8C	20B	20B	23A	15D	19B	17C	26A	26 ^A	20B	25A	27A	19B	28A	20B
60	28A	7D	20B	9C	34A	16C	20B	10D	28A	28 ^A	20B	21B	28A	21C	23B	19C
80	28A	6C	20B	7C	31A	10C	20B	9C	31A	27B	20C	21C	26A	22B	25A	16C
100	36A	4C	19B	5C	35A	9C	19B	7D	28A	20B	19B	17C	30A	22C	27B	14D
120	30A	5C	19B	4C	34A	7C	20B	6C	27A	17C	19B	9D	32A	23C	25B	9D

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na linha, para mesma profundidade, não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

C1 - ARDC sem coagulante

C2 - sulfato férrico

C3 - sulfato de alumínio

C4 - extrato de semente de moringa.

Para as profundidades de 20cm e 40cm, no tempo zero, na ARDC que não recebeu coagulante (C1), não foram observadas diferenças na concentração de sólidos em suspensão em relação a ARDC que recebeu de extrato de semente de moringa (C4), entretanto, para os demais tempos de sedimentação, a ARDC que não recebeu coagulante apresentou maior concentração média de SS, em todos os intervalos de tempo de sedimentação.

Os resultados apresentados na Tabela 7 indicam que, com a introdução dos coagulantes: sulfato férrico, sulfato de alumínio e extrato de semente de moringa conduziu a uma redução significativa, em torno de 80% para sulfato férrico e sulfato de alumínio e 50% para o extrato de semente de moringa na concentração de SS na ARDC.

Na coluna em que a ARDC recebeu o extrato de sementes de Moringa (C4), sulfato de alumínio (C2) e na que recebeu sulfato férrico (C3), observou-se que, ao ser fixada a profundidade, há decréscimo da concentração de sólidos suspensos com aumento do tempo.

4.3 Análise das características físicas e químicas da água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro tratadas e em recirculação

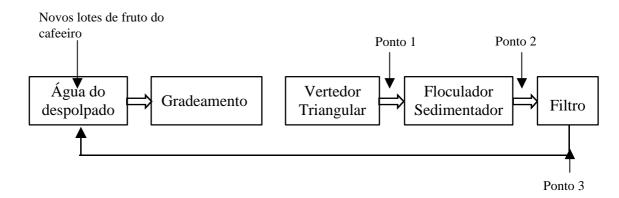


Figura 15 – Fluxograma do sistema de tratamento da ARDC em recirculação.

Nas tabelas 8, 9, 10 e 11 estão apresentados dados de caracterização da água em recirculação do processamento dos frutos do cafeeiro (ARDC), tratada com e sem coagulantes.

Tabela 8 – Caracterização da água em recirculação no processamento dos frutos do cafeeiro arábica, sem adição de coagulantes

Recirculação	sem coagulante	SP	CE	pН	DQO	DBO ₅	Tubidez	SS	ST
		mL L ⁻¹	dS m ⁻¹		mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	UNT	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
	Ponto 1	0	0,73	3,77	4385	2844	221,40	220	3284
1	Ponto 2	0	0,53	3,71	3710	2721	180,37	133	3556
	Ponto 3	0	0,69	3,74	3643	2208	189,30	240	3419
	Ponto 1	0	0,84	3,78	6206	4309	424,70	310	4399
2	Ponto 2	0	0,72	3,71	4520	4304	386,20	223	4029
	Ponto 3	0	0,78	3,76	5397	3022	274,17	270	3947
-	Ponto 1	0	1,06	3,80	7421	4324	312,27	656	5863
3	Ponto 2	0	0,86	3,83	7218	4709	272,30	330	4087
	Ponto 3	0	0,99	3,84	6004	4143	238,13	103	4495
	Ponto 1	0	1,32	3,82	12413	5770	467,07	993	8643
4	Ponto 2	0	1,12	3,81	10254	5537	382,90	556	7884
	Ponto 3	0	1,01	3,83	7218	5056	404,17	256	5888
	Ponto 1	0	1,14	3,78	10322	5861	442,37	563	7310
5	Ponto 2	0	1,23	3,85	9917	6099	345,37	633	7468
	Ponto 3	0	1,28	3,73	9242	4839	361,53	676	5987

Ponto1 – entrada do sedimentador, Ponto 2 – saída do sedimentador, Ponto 3 – saída do filtro orgânico

Na tabela 8 está caracterizada a ARDC, que não recebeu a adição de coagulantes, recirculadas por cinco vezes no processamento de frutos do cafeeiro. Pelos dados apresentados, observou-se aumento de todas as características avaliadas, a cada recirculação da ARDC, exceto no que se refere à concentração de sólidos sedimentáveis, já que não foi observada a formação de flocos em nenhuma das recirculações. O pH da ARDC que não recebeu a adição de coagulantes permaneceu, praticamente, constante ao longo das recirculações.

Avaliando-se a eficiência do sistema na remoção de poluentes da ARDC que não recebeu coagulantes, verificou-se pequena redução das variáveis DQO, DBO, ST e turbidez ao longo do sistema de tratamento (afluente do sedimentador, efluente do sedimentador e efluente do filtro). Houve pequena redução na condutividade elétrica e na concentração de sólidos em suspensão entre os pontos de entrada e saída da ARDC do sedimentador e acréscimo na saída do filtro orgânico. Acredita-se que o acréscimo nessas duas variáveis ao longo das recirculações seja devido ao deslocamento de parte do material particulado retido no filtro orgânico em recirculações anteriores. Os resultados indicaram a necessidade de se intervir quimicamente no processo de tratamento das águas em recirculação no processamento de frutos do cafeeiro, de forma a possibilitar mais eficiente remoção da carga orgânica e de sólidos em suspensão.

Tabela 9 – Caracterização da água em recirculação do processamento dos frutos do cafeeiro arábica, tratadas com o coagulante sulfato de alumínio na concentração de 3 g L⁻¹ e pH na faixa de 7 a 8

Recirculação	Sulf. de alumínio	SP	CE	pН	DQO	DBO ₅	Tubidez	SS	ST	alumínio
		mL L ⁻¹	dS m ⁻¹		mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	UNT	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg mL ⁻¹
	Ponto 1	175,00	0,77	7,18	4964	2385	159,73	330	4530	9,400
1	Ponto 2	18,33	0,68	7,26	3536	1906	102,50	280	1990	2,110
	Ponto 3	38,67	0,58	7,15	4216	1889	85,57	200	1690	10,100
	Ponto 1	106,00	1,02	7,11	6120	3144	215,93	480	2700	9,907
2	Ponto 2	82,00	0,88	7,17	5440	2170	125,90	310	1870	4,147
	Ponto 3	166,00	0,85	7,10	4556	1881	128,07	310	1160	10,130
	Ponto 1	116,67	1,15	7,58	9588	4767	169,57	570	5510	8,787
3	Ponto 2	256,67	0,97	7,04	6936	3325	157,73	480	2570	6,393
	Ponto 3	233,33	1,06	7,04	5916	2991	140,47	360	2730	9,823
	Ponto 1	376,67	1,24	7,01	7140	4330	469,93	880	3330	9,670
4	Ponto 2	290,00	1,26	7,00	8160	3717	307,63	450	2420	5,790
	Ponto 3	276,67	1,22	6,99	7548	3638	143,53	420	2980	9,783
	Ponto 1	456,67	1,36	7,03	10036	4464	149,03	990	4840	10,133
5	Ponto 2	203,33	1,14	6,95	8500	3866	280,27	530	2610	7,023
	Ponto 3	240	1,24	6,97	7616	3829	160,77	470	3200	9,570

Ponto1 – entrada do sedimentador, Ponto 2 – saída do sedimentador, Ponto 3 – saída do filtro orgânico

Tabela 10 – Caracterização da água em recirculação do processamento dos frutos do cafeeiro arábica, tratadas com o coagulante sulfato férrico na concentração de 3g.L⁻¹ e pH na faixa de 7 a 8

Recirculação	sulf. férrico	SP	CE	pН	DQO	DBO_5	Tubidez	SS	ST	Ferro
		mL L ⁻¹	dS m ⁻¹		mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	UNT	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg mL ⁻¹
	Ponto 1	44,67	0,514	7,37	4802	1755	139,70	343	2877	18,28
1	Ponto 2	32,00	0,399	7,58	3869	1540	146,80	193	1908	11,53
	Ponto 3	12,50	0,531	7,60	3980	1517	74,90	230	1504	16,98
	Ponto 1	131,67	0,697	7,25	5667	2336	158,00	500	1961	18,43
2	Ponto 2	37,67	0,567	7,28	5286	2253	106,50	386	1588	15,78
	Ponto 3	40,00	0,577	7,39	4250	1734	102,40	366	1302	17,48
	Ponto 1	126,67	0,915	6,97	5353	2209	166,90	613	2320	19,50
3	Ponto 2	51,33	0,736	7,18	4611	2195	89,10	346	2143	13,58
	Ponto 3	23,33	0,742	7,15	4544	2196	165,50	330	1929	18,70
	Ponto 1	128,33	0,959	7,06	6794	3018	119,30	1179	4710	20,05
4	Ponto 2	30,33	0,765	7,27	5353	2683	167,40	440	2861	15,73
	Ponto 3	47,67	0,758	7,89	5016	2576	92,50	463	2785	19,68

	Ponto 1	280,00	0,967 7,67	7120	3273	189,40	1203	4477	20,08
5	Ponto 2	85,00	0,864 7,57	5242	2680	131,10	366	3962	16,06
	Ponto 3	40,33	0,662 6,76	5274	2623	86,30	146	2327	19,82

Ponto1 – entrada do sedimentador, Ponto 2 – saída do sedimentador, Ponto 3 – saída do filtro orgânico

Tabela 11 – Caracterização da água em recirculação do processamento dos frutos do cafeeiro arábica, tratadas com o coagulante extrato de semente de moringa na dosagem de 10 mL.L⁻¹ e pH na faixa da ARDC

Recirculação	Moringa	SP	CE	pН	DQO	DBO ₅	Tubidez	SS	ST
		mL L ⁻¹	dS m ⁻¹		mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	UNT	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
	Ponto 1	36,67	1,54	4,61	4183	2070	66,24	280	4060
1	Ponto 2	0,67	1,58	4,29	2496	1796	53,67	150	3320
	Ponto 3	0,17	1,38	4,18	2631	1877	45,19	150	3230
	Ponto 1	150,00	1,58	4,41	5869	2986	84,42	410	5140
2	Ponto 2	0,33	1,64	4,23	4925	2686	67,32	160	5040
	Ponto 3	0,17	1,78	4,00	4992	2642	79,47	150	4950
	Ponto 1	60,00	1,62	4,62	6679	3529	100,07	330	6180
3	Ponto 2	0,00	1,42	4,54	5802	3184	88,77	160	4670
	Ponto 3	0,00	1,54	4,69	4790	2918	88,00	190	4800
	Ponto 1	20,00	1,42	4,17	6476	3813	105,67	890	7070
4	Ponto 2	3,33	1,37	4,03	6004	3754	52,27	240	4680
	Ponto 3	0,00	1,42	4,16	6274	3616	52,20	220	4480
	Ponto 1	71,67	1,46	4,85	9310	5510	55,27	980	6750
5	Ponto 2	0,33	1,46	4,85	8703	5010	42,73	360	6390
	Ponto 3	0,00	1,46	4,84	9242	4888	38,29	150	6260

Ponto1 – entrada do sedimentador, Ponto 2 – saída do sedimentador, Ponto 3 – saída do filtro orgânico

Nas tabelas 9, 10 e 11 está caracterizada a ARDC que recebeu os coagulantes sulfato de alumínio, sulfato férrico e extrato de semente de moringa. Com a adição de coagulantes na ARDC houve redução na concentração de sólidos em suspensão, sólidos totais e sólidos sedimentáveis, a condutividade elétrica e a turbidez, em todos os tratamentos, com redução dessas variáveis ao longo do sistema de tratamento. Quando utilizados os coagulantes sulfato férrico e sulfato de alumínio, a DBO e a DQO, foram reduzidas de 20 a 45% e de 20 a 43%, respectivamente. No tratamento de esgoto sanitários, por meio da coagulação-floculação, a eficiência de remoção da DBO situou-se entre 50 e 75%

e para os efluentes industriais, a eficiência de remoção é bastante variável, dependendo muito das características de cada tipo de efluente.

A adição do extrato de semente de moringa não proporcionou redução na e DBO e DQO da ARDC. Acredita-se que isso se deva à constituição orgânica desse coagulante. Observou-se pequena variação do pH em todos os tratamentos com adição de coagulantes.

Verificou-se que a eficiência do sistema no tratamento do esgoto doméstico como um todo de 80 a 100%, no sistema para a remoção de sólidos sedimentáveis, atingindo parcialmente o objetivo do tratamento primário, que segundo von SPERLING (1996), é a remoção de sólidos sedimentáveis juntamente com parte da matéria orgânica.

A remoção de SS na ARDC ficou em torno de 75, 60 e 35% para o sulfato férrico, extrato de semente de moringa e sulfato de alumínio, respectivamente, em relação a ARDC sem coagulante.

Com adição dos coagulantes sulfato férrico e extrato de semente de moringa, foram obtidos os menores valores de turbidez na ARDC, sendo esses valores, aproximadamente, 90 e 75% menores que os encontrados na ARDC que não recebeu a adição de coagulantes. No caso do coagulante sulfato de alumínio (C2) essa diferença foi de, aproximadamente, 55%. VIEIRA (1999), em ensaios de Jar-test para tratamento de águas de abastecimento, verificou maior remoção da turbidez quando foram utilizados sais de ferro (69% para dose de 20 mg L⁻¹) em relação aos sais de alumínio (67% para dose de 40 mg L⁻¹). Segundo o mesmo autor, os sais de ferro apresentaram um consumo até 50% menor que o de sais de alumínio. FREDERICO et al., (1999) afirmaram que os sais de ferro apresentam melhor comportamento, no que diz respeito à remoção da turbidez da água decantada, quando comparado com o sulfato de alumínio, podendo, inclusive, trabalhar numa ampla faixa de pH, o que não foi possível com o sulfato de alumínio.

Nas tabelas 8, 9, 10 e 11 estão apresentados os valores de DBO₅ na ARDC que não recebeu e nas que receberam coagulantes. Os valores de DBO₅ da ARDC que não recebeu coagulantes e nas que receberam extrato de semente de moringa e sulfato de alumínio foram semelhantes, não tendo sido verificada significativas

remoções de DBO₅ em relação às amostras que não receberam coagulantes. A adição de sulfato férrico, no entanto, proporcionou redução de cerca de 45% no valor da DBO₅, tomando-se como referência os valores encontrados na ARDC que não recebeu coagulantes, devido à remoção de material orgânico durante o sistema de tratamento ter sido mais eficiente quando adicionado coagulante na ARDC. Para o tratamento primário de esgoto domestico são observadas eficiências de remoção de DBO₅ em torno de 30 a 40 % (von SPERLLING, 1996).

Na tabela 22, observa-se que as maiores médias de DBO₅ foram obtidas na ARDC que não recebeu a adição de coagulantes (C1). Em relação à recirculação, verificou-se que, em termos percentuais, a ARDC sem coagulante (C1) apresentou os maiores valores de DBO₅, com acréscimo de 154,8% da recirculação 1 para recirculação 5.

Na ARDC que recebeu a adição de coagulantes, verificou-se que, o coagulante mais eficiente na remoção de DBO₅ foi o sulfato férrico (C3), já que na ARDC que o recebeu, o aumento de DBO₅ foi de apenas 71%, da recirculação 1 para a recirculação 5, o que representa, em relação a ARDC que não recebeu coagulantes (C1), uma redução de, aproximadamente, 83% na DBO₅ final. Os valores de redução de DBO₅ encontrados no tratamento com coagulantes vão de encontro aos citados por CHERNICHARO (2001) para o tratamento do esgoto bruto, pelo processo de coagulação que, segundo o autor, deve proporcionar reduções entre 70% e 75% na DBO₅.

O lançamento da ARDC com sua DBO₅ de origem, pode acarretar graves problemas ambientais devido sua elevada carga orgânica, acarreta um grande consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica, além disso deve-se atentar para o padrão de lançamento e de qualidade do corpo receptor estabelecidos pela resolução do CONAMA nº20 de 18/06/86. Caso a ARDC seja utilizada para fertirrigação com relação a DBO₅ acredita-se não haver nenhum inconveniente, desde que não se excedam as doses de nutrientes recomendadas para as culturas e a carga orgânica assimilável pelos microrganismos do solo.

Na tabela 12 está apresentado um resumo da análise de variância dos sólidos sedimentáveis (SP), condutividade elétrica (CE), sólidos em suspensão (SS), sólidos totais (ST), turbidez, DQO, DBO₅, pH em função do tipo de coagulante, dos pontos de amostragem no sistema de tratamento da ARDC e do número de recirculações.

Tabela 12 – Resumo da análise de variância de sólidos sedimentáveis (SP), condutividade elétrica (CE), sólidos suspensos (SS) , sólidos totais (ST), Turbidez, DQO, DBO₅ e pH

FV	GL	Quadrados Médios										
1 ν	OL	SP	SS	ST	Turbidez	CE	pН	DQO	DBO ₅			
COAG (C)	3	368281,60**	64798,66**	105358500,00**	381005,00**	3,89NS	3,05NS	16105620,00NS	23820900,00**			
RESIDUO (a)	8	291,73	13925,04	12632270,00	6982,44	2,29	1,44	17492980,00	1447772,00			
PONTO (P)	2	70590,04**	1702040,00**	12252890,00**	59272,03*	0,23**	0,11NS	41236740,00**	2629145,00NS			
CXP	6	10353,68**	85606,03**	1571322,00NS	19741,20NS	0,06NS	0,13NS	1442861,00NS	367695,00NS			
RESIDUO(b)	16	99,74	6746,50	2475918,00	15450,51	0,03	0,10	4577073,00	866545,40			
RECIRC(R)	4	41792,07**	708554,70**	34226190,00**	61445,27**	1,10**	0,19NS	162456600,00**	29435710,00**			
RXC	12	25688,06**	137739,6**	2686605,00ns	22151,50**	0,14NS	0,06NS	4475304,00*	1501314,00**			
RXP	8	8201,88**	43369,41**	1575483,00NS	10427,73NS	0,04NS	0,08NS	881870,10NS	477517,60NS			
R X C X P	24	6907,89**	75020,57**	2711804,00NS	6403,22NS	0,06NS	0,05NS	3576106,00NS	345278,00NS			
RESIDUO(c)	96	216,21	10056,55	2171942,00	6576,57	0,08	0,10	2389286,00	365713,70			
CV(%) PARCELA		22,90	25,20	83,67	48,45	29,20	148,36	61,91	40,55			
CV(%) SUBPARCELA		13,39	17,54	37,04	72,07	7,69	16,98	31,67	31,37			
CV(%) SUBSUBPARCELA		19,71	21,41	34,69	47,02	7,88	27,77	22,88	20,37			

^{** -} F significativo a 1%

NS – F não significativo a 5%.

^{*-} F significativo a 5%

4.3.1 Avaliação da eficiência do processo físico—químico do sistema de tratamento da ARDC.

4.3.1.1 Sólidos Sedimentáveis

Avaliando-se os resultados apresentados na tabela 12, verificou-se que, para a variável SP, houve efeito significativo (P < 0.01) de todas as fontes de variação. Baseado neste resultado, procedeu-se ao desdobramento da interação R x C x P.

Nas tabelas 13 e 14 encontram-se apresentadas às médias das combinações dos coagulantes, pontos de amostragem e número de recirculações.

Na tabela 13, pode-se observar que não houve diferença nas médias de SP em relação ao número de recirculações, no sedimentador da ARDC que não recebeu a adição de coagulantes (C1). Isso talvez possa ser justificado pelas características da ARDC, que é formada por uma mucilagem que possui densidade próxima à da água, constituída, provavelmente, por partículas eletricamente carregadas e que não se agrupam facilmente e que, por isso, não são sedimentáveis e nem floculáveis, apresentando sedimentação tipicamente zonal.

Ainda com relação à tabela 13, verificou-se que o sulfato férrico (C3) apresentou as maiores concentrações médias de SP na 4ª e 5ª recirculações, em todos os pontos do sistema de tratamento da ARDC, do que os outros tratamentos. Há formação de flocos mais densos com o cátion ferro, devido ao seu alto peso molecular quando comparado, por exemplo, com o alumínio pode ser uma das explicações para o que foi observado. Com a formação de flocos mais densos, o tempo de sedimentação é reduzido significativamente (PAVANELLI, 2001). Observou-se tendência de crescimento das médias de concentração de SP a cada recirculação para os tratamentos, sendo observada a seqüência em ordem do sem coagulante (C1), extrato de semente de moringa (C4), sulfato de alumínio (C2) e sulfato férrico (C3).

Avaliando-se os resultados apresentados na tabela 14, verifica-se que houve tendência de aumento nas concentrações médias de SP com a adição dos coagulantes sulfato férrico (C3), sulfato de alumínio (C2) e extrato de semente de

moringa (C4) a cada recirculação da ARDC. A concentração de SP na ARDC que não recebeu a adição de coagulantes (C1) manteve-se constante e igual a zero a cada recirculação.

O sulfato férrico (C3) proporcionou a maior concentração média de sólidos sedimentáveis em cada recirculação da ARDC, se comparado com os demais tratamentos. Observou-se uma tendência de redução das médias no afluente do sedimentador (P1), efluente do sedimentador (P2) nas ARDC com adição de coagulante. A redução de SP de P1 para P2 se deve à formação de flocos maiores e mais densos que se sedimentam devido à ação dos coagulantes na ARDC.

Quadro 13 – Concentrações médias de sólidos sedimentáveis (SP), obtidas na água de recirculação no processamento de frutos do cafeeiro em função do tipo de coagulante, número de recirculações e ponto de amostragem

Recirculação		Afluente d	o Sedimentador			Efluente do S	edimentador		Efluente do Filtro Orgânico			
Kech culação	C1	C2	С3	C4	C1	C2	С3	C4	C1	C2	C3	C4
1	0,00Ca	175,00Ac	44,67Bc	36,67Bcd	0,00Ba	18,33ABd	32,00Ab	0,67Ba	0,00Ba	38,67Ad	14,00Abc	0,17Ba
2	0,00Ca	106,00Bd	131,67ABb	150,00Aa	0,00Ca	82,00Ac	37,67Bb	0,33Ca	0,00Ba	166,00Ac	0,00Bc	0,17Ba
3	0,00Ca	116,67Ad	126,67Ab	60,00Bbc	0,00Ca	256,67Aa	51,33Bb	0,00Ca	0,00Ba	233,33Ab	23,33Bbc	0,00Ba
4	0,00Ca	376,67Ab	128,33Bb	20,00Cd	0,00Ba	290,00Aa	30,33Bb	3,33Ba	0,00Ca	276,67Aa	47,6Bab	0,00Ca
5	0,00Ca	456,67Aa	280,00Ba	75,00Cb	0,00Ca	203,33Ab	85,00Ba	0,33Ca	0,00Ca	240,00Ab	60,33Ba	0,00Ca

As médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, para cada ponto, não diferem, entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

C1 - ARDC sem coagulante

C3 - sulfato férrico

C2 - sulfato de alumínio

C4 - extrato de semente de moringa

Quadro 14 - Concentrações médias de SP obtidos durante a recirculação da água no processamento de frutos do cafeeiro em função do tipo de coagulante, número de recirculações e ponto de amostragem.

Dasimanlasão	S	em Coagulan	te	St	ulfato Férric	0	Sulfato de Alumínio		nio	Extrato de Semente de Moring		
Recirculação _	P1	P2	Р3	P1	P2	Р3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
1	0,00A	0,00A	0,00A	175,00A	18,33B	38,67B	44,67A	32,00AB	14,00B	36,67A	0,67B	0,17B
2	0,00A	0,00A	0,00A	106,00B	82,00B	166,00A	131,67A	37,67B	0,00C	150,00A	0,33B	0,17B
3	0,00A	0,00A	0,00A	116,67B	256,67A	233,33A	126,67A	51,33B	23,33C	60,00A	0,00B	0,00B
4	0,00A	0,00A	0,00A	376,67A	290,00B	276,67B	128,33A	30,33B	47,67B	20,00A	3,33A	0,00A
5	0,00A	0,00A	0,00A	456,67A	203,33C	240,00B	280,00A	85,00B	60,33B	75,00A	0,33B	0,00B

As médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula nas linhas, para cada coagulante, não diferem, entre si em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

P1 - entrada do sedimentador,

P2 - saída do sedimentador,

P3 - saída do filtro orgânico.

4.3.1.2 Sólidos em Suspensão

Os resultados apresentados na tabela 12, indicam que todos os fatores foram significativos em relação a variável SS, com F significativo a 1% de probabilidade.

Analisando-se a concentração de sólidos suspensos na ARDC, observa-se que os valores decresceram, ao longo do sistema de tratamento, com a adição de coagulantes. A remoção de SS na ARDC ficou em torno de 75, 60 e 35% para o sulfato férrico, extrato de semente de moringa e sulfato de alumínio, respectivamente, em relação a ARDC sem coagulante.

Na tabela 15 pode-se verificar que, na saída do sedimentador (P2), os coagulantes com poucas exceções se equivaleram em termos de remoção de sólidos em suspensão. Observou-se, ainda, com relação a este ponto de amostragem, que as concentrações médias de SS aumentaram a cada recirculação da ARDC que recebeu sulfato de alumínio. Houve redução das médias de SS da entrada do sedimentador (P1) para a saída do sedimentador (P2), para todos os coagulantes aplicados a ARDC, sendo maior a diferença entre as concentrações médias do SS da entrada do sedimentador (P1) para a saída do sedimentador (P2) com a aplicação do sulfato de alumínio a ARDC (C3), chegando a aproximadamente 60% de remoção desses sólidos. e as maiores em relação à saída do filtro orgânico (P3). Na ARDC que recebeu coagulantes, as maiores concentrações médias foram observadas à entrada do sedimentador (P1) e as menores na saída do sedimentador (P2), demonstrando que a ação do coagulante foi importante para aumentar a eficiência na remoção de sólidos em suspensão.

Com a adição de sulfato de alumínio (C2) a ARDC, encontrou-se as maiores eficiências de remoção de SS, em ordem decrescente de eficiência, seguiu-se o extrato de semente de moringa e o sulfato férrico. Isso se deve ao fato dos coagulantes causarem uma desestabilização dos íons presentes na ARDC formando partículas maiores e mais densas que se sedimentam mais rapidamente, aumentando a eficiência de remoção dos sólidos em suspensão. LIMA (1999), verificou que os melhores resultados obtidos com ensaios realizados com adição de sais de ferro, em nenhum momento, apresentaram-se superiores, em termos de

eficiência de remoção de SST, àqueles obtidos nos ensaios com adição de sais de alumínio. Desta forma, entende-se que seriam necessárias maiores doses de sais de ferro para se obter o mesmo resultado conseguido com menores doses de sais de alumínio.

Quadro 15 - Concentrações médias de sólidos em suspensão (SS), obtidos durante a recirculação da água no processamento de frutos do cafeeiro em função do tipo de coagulante, número de recirculações e ponto de amostragem.

Dooimaylo aão	Sem Coagulante		Sulfato Férrico			Sulfato de Alumínio			Extrato de Semente de Moringa			
Recirculação	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	Р3
1	253A	166A	273A	493A	310AB	286B	343A	193AB	129B	440A	236B	240B
2	343A	290A	270A	580A	310B	293B	500A	386AB	258B	630A	227B	386B
3	1190A	496C	703B	566A	460A	193B	613A	346B	330B	500A	227B	260B
4	873A	730A	490B	783A	313B	486B	1179A	440B	463B	560A	376A	390A
5	996AB	466B	676A	990A	480B	533B	1203A	366B	217B	761A	656AB	483B

As médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula, nas linhas, não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

P1 - entrada do sedimentador,

P2 - saída do sedimentador,

P3 - saída do filtro orgânico.

Quadro 16 – Concentrações médias de sólidos em suspensão (SS) obtidos durante a recirculação da água no processamento de frutos do cafeeiro em função do tipo do coagulante, número de recirculações e pontos de amostragem

Recirculação		Afluente do S	Sedimentador			Efluente do	Sedimentador		Efluente do Filtro Orgânico				
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	С3	C4	C1	C2	С3	C4	
1	253Ad	493Ac	343Ac	440Ab	166Ac	310Ba	193ABb	236Bb	273Ab	286Bbc	129Bb	240Bb	
2	343Acd	580Abc	500Abc	630Aab	290Abc	310ABa	386ABab	227Bb	270Ab	293Bbc	258Bab	386Bab	
3	1190Aa	566Abc	613Ab	500Aab	496Cb	460Ba	346Bab	227Bb	703Ba	193Ac	330Bab	260Bab	
4	873Ab	783Aab	1179Aa	560Aab	730Aa	313Ba	440Ba	376Ab	490Bab	486Bab	463Ba	390Aab	
5	996ABc	990Aa	1203Aa	761Aa	466Cb	480Ba	366Bab	656ABa	676Aa	533Ba	217Bb	483Ba	

As médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula, nas linhas, ou minúscula, nas colunas, não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

C1 - ARDC sem coagulante

C2 - sulfato de alumínio

C3 - sulfato férrico

C4 - extrato de semente de moringa.

4.3.1.3 Sólidos Totais

Como pode ser observado na tabela 12, foi constatado efeito significativo (P < 0,01) do coagulante, ponto de coleta e do número de recirculações na concentração de sólidos em suspensão, por esta razão, estes efeitos foram discutidos isoladamente.

Pelos dados apresentados na tabela 17, pode-se verificar que o ponto de amostragem anterior ao sedimentador (P1) não diferiu do ponto de coleta à saída do sedimentador (P2) para todos os coagulantes, tendo sido obtido maior concentração média de ST à entrada do sedimentador (P1).

Avaliando-se os resultados apresentados na tabela 18, verifica-se que os valores médios obtidos de concentração de sólidos totais nas recirculações 1 e 2 não diferem entre si, embora tenham diferido das demais. Os menores valores encontrados na concentração de sólidos totais na ARDC devem-se à atuação do coagulante e das estruturas que compõe o sistema de tratamento.

Na ARDC que não recebeu adição de coagulantes (C1) foi observada as menores eficiências na remoção de sólidos totais, sendo a eficiência máxima de 30%. A ARDC onde foi adicionado coagulante, verificou-se eficiências de remoção para o sulfato de alumínio de 57%, sulfato férrico de 40 % e para o extrato de semente de moringa de 33%. Na ARDC que não recebeu adição de coagulantes (C1) foi obtida a maior concentração média, diferindo dos valores encontrados com a adição de sulfato férrico (C2) e sulfato de alumínio (C3), tal como pode ser observado na tabela 19. Com isso, pode dizer que a adição de coagulantes a ARDC proporcionou aumento na remoção de sólidos totais nela presentes.

Ainda na tabela 19, verificou-se que na ARDC onde foi adicionado o extrato de semente de moringa (C4) não diferiu estatisticamente da ARDC sem coagulante (C1), devido o extrato de semente de moringa não ter obtido uma redução expressiva dos sólidos totais na ARDC.

Acredita-se que, em vista da faixa de pH em que foram avaliados o sulfato de alumínio e o sulfato férrico, a sedimentação ocorreu, preferencialmente, por coprecipitação, conforme pode ser verificado nos diagramas apresentados no

capítulo 2 ou 3, Revisão de Literatura, tendo sido observadas maiores remoções de sólidos totais da ARDC quando foram utilizados estes coagulantes.

Quadro 17 - Concentrações médias de sólidos totais (ST) e DQO, turbidez e condutividade elétrica (CE), obtidas durante a recirculação da água no processamento de frutos do cafeeiro, em função dos pontos de amostragem.

Variáveis	Afluente do Sedimentador	Efluente do Sedimentador	Efluente do Filtro Orgânico
DQO	7642,73A	6624,50B	6000,37C
Turbidez	208,66A	156,52B	152,18B
ST	4707,00A	4232,50AB	3803,60B
CE	1,09A	1,02AB	0,96B

As médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula, nas linhas, não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Quadro 18 - Concentrações médias de sólidos totais (ST), DQO e condutividade elétrica (CE), obtidas durante a recirculação da água no processamento de frutos do cafeeiro, em função do número de recirculações.

Variáveis	Recirculação 1	Recirculação 2	Recirculação 3	Recirculação 4	Recirculação 5
ST	2994,14B	3461,00B	4566,30A	4988,16A	5228,94A
DQO	3913,00C	5374,84BC	6881,60B	9962,58A	9827,64A
CE	0,82B	0,86B	1,09A	1,15A	1,20A

Médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula, nas linhas, não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Quadro 19 - Concentrações médias de sólidos totais (ST), obtidas durante a recirculação da água no processamento de frutos do cafeeiro em função do coagulante.

Variáveis	Sem Coagulantes	Sulfato Férrico	Sulfato de Alumínio	Extrato de Sementes de Moringa		
Sólidos totais (ST)	5947,37A	3001,20B	2907,90B	5134,38AB		

As médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula, nas linhas, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.3.1.4 Turbidez

Na tabela 12, pode-se verificar, pela análise de variância, que a turbidez variou significativamente com o tipo de coagulante, número de recirculações e com a interação recirculação-coagulante, a 1% de probabilidade, e em relação ao ponto de coleta das amostras, a 5% de probabilidade.

As médias da turbidez da ARDC apresentadas na tabela 17, coletadas na entrada e na saída do sedimentador diferiram entre si, sendo consideradas estatisticamente diferentes.

Na tabela 20, verificou-se que a turbidez da água nas recirculações 4 e 5 também não diferiram entre si, diferindo apenas quando das recirculações 1 e 3. O aumento da turbidez da água verificada em cada ciclo do processamento, se deve ao processamento de novos lotes de frutos do cafeeiro, utilizando-se a mesma água já utilizada, o que pode ser verificado a cada recirculação.

Verificou-se na tabela 20 que, na ARDC que não recebeu coagulantes, foram encontrados os maiores valores de turbidez e na ARDC com adição de extrato de semente de moringa as menores médias, para todas as recirculações da água. Segundo AL AZHARIA JAHN (1986), com a dose adequada de extrato de sementes de moringa, é possível reduzir a turbidez de águas brutas inicialmente fortemente turvas, chegando-se a obter valores de turbidez inferiores a 10 UNT, após a coagulação das partículas em suspensão no meio líquido.

O aumento da turbidez na ARDC, verificado a cada recirculação dessa água, no ponto de entrada do sedimentador é inerente à própria recirculação da água, ou seja, à medida que a água vai sendo usada no processamento dos frutos do cafeeiro os valores da turbidez vão sendo aumentados,o que vai de encontro com os valores obtidos de sólidos suspensos, já que a turbidez está relacionada à quantidade de sólidos suspensos presentes na água.

Os valores de turbidez obtidos variaram de 66,24 a 467,07 UNT, sendo, por esta razão, recomendável a coagulação química da ARDC antes da etapa de filtração, já que os valores superam 50 UNT que é o valor de referência citado por von SPERLING (1996) para o uso deste tipo de tratamento.

Quadro 20 Valores médios de turbidez em função do número de recirculações e

do tipo de coagulante adicionado a ARDC.

Daginaylagãa	Sem	Sulfato Férrico	Sulfato de	Extrato de Sementes de
Recirculação	Coagulante	Sunato Ferrico	Alumínio	Moringa
1	197,02Ab	82,60Bc	116,45Aba	72,53Ba
2	281,68Aab	156,63Bbc	126,91Ba	107,87Ba
3	240,90Ab	155,92ABbc	130,52Ba	92,27Ba
4	384,71Aa	307,03Aa	130,10Ba	83,73Ba
5	383,08Aa	196,68Bb	136,94BCa	65,53Ca

Médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula, nas linhas ou minúscula, nas colunas, não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.3.1.5 Condutividade Elétrica

A análise de variância apresentada na tabela 12, indicou haver efeito significativo do ponto de coleta de amostras e do número de recirculações na CE da ARDC. As médias da CE na ARDC coletada em diferentes pontos do sistema de tratamento encontram-se apresentadas na tabela 17 e, em relação ao número de recirculações, na tabela 18. No que se refere ao ponto de coleta das amostras, verificou-se que a CE na entrada do sedimentador (P1) não foi estatisticamente diferente a da saída do sedimentador (P2).

Em relação à recirculação, a CE da ARDC nas recirculações 1 e 2 diferiu das recirculações 3, 4 e 5, mas não diferiram entre si, sendo observado aumento da média da CE a cada recirculação da ARDC coletada na entrada do sedimentador (P1), devido à admissão de novos lotes de frutos do cafeeiro para processamento.

Os valores observados de CE da ARDC, em quase todos os pontos de amostragem (entrada do sedimentador, saída do sedimentador), se enquadraram na classe C3, consideradas águas com alta salinidade, compreendidas na faixa de 0,75 a 2,25 dS m⁻¹, a 25 °C.

4.3.1.6 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Observa-se na tabela 12 que a DQO foi significativamente diferente dependendo do ponto de coleta da amostra, a 5% de probabilidade; do número de recirculações, a 5% de probabilidade, e da interação recirculação-coagulante, a 1% de probabilidade. Na tabela 17, encontram-se apresentadas às médias da variável DQO, podendo-se verificar que houve diferença significativa entre os ponto de amostragem e que as médias decresceram entre a entrada e a saída do sedimentador (P1) e (P2).

Avaliando-se os resultados apresentados na tabela 21, pode-se verificar que não houve diferença significativa entre os coagulantes na remoção da DQO para todas as recirculações, sendo as médias consideradas estatisticamente iguais. Apesar de não ter havido interação significativa entre os coagulantes, pode-se observar que, em termos percentuais, os coagulantes sulfato férrico (C3) e sulfato de alumínio (C2) proporcionaram menores aumentos de DQO com a recirculação da água no processamento de frutos do cafeeiro, tendo sido obtidos aumentos de 86 e 121%, respectivamente. Na ARDC sem coagulante (C1) e na que foi adicionado o extrato de semente de moringa (C4) foram observados os maiores aumentos de DQO com a recirculação da água, tendo sido obtidos aumentos de 151 e 192%. A maior concentração média de DQO foi obtida para todos os tratamentos, como não poderia deixar de ser, na recirculação de número 5.

Segundo NOZAKI e BARROS (2002), em termos percentuais, a DQO remanescente após a floculação e a coagulação foi de 54% quando utilizado sulfato de alumínio (100 – 1000 mg L⁻¹ e pH entre 4 e 8) e cloreto férrico (50 – 500 mg L⁻¹ e pH entre 5 e 11) no tratamento de efluentes da indústria de papel. De acordo com AL AZHARIA JAHN (1986), o extrato de semente de moringa não é eficiente na remoção de DQO, visto ser um coagulante constituído por material orgânico.

O lançamento da ARDC em cursos de água, pode causar a mortandade de peixes, depreciação da qualidade do mesmo, devido à elevada carga poluente. A DQO assim como a DBO da ARDC são elevadas, portanto há um elevado consumo de oxigênio para a oxidação química e bioquímica da matéria orgânica presente na mesma. Já a utilização da ARDC na fertirrigação poderá trazer benefícios para o solo, com a introdução de material orgânico no mesmo.

Quadro 21 - Valores médios de DQO em função do número de recirculações e

do tipo de coagulante.

Recirculação	Sam Caamlanta	Sulfato	Sulfato de	Extrato de Sementes de
	Sem Coagulante	Férrico	Alumínio	Moringa
1	3913Ab	4238Ac	5194Ab	3103 Ab
2	5374Ab	5372Abc	5516Ab	5262Ab
3	6881Aab	7480Aabc	6836Aab	5757Ab
4	9962Aa	7616Aab	8388Aab	6251Aab
5	9827Aa	9384Aa	9670Aa	9085Aa

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula, nas linhas, ou minúscula, nas colunas, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.3.1.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

Na tabela 12 pode ser observado que o tipo de coagulante, o número de recirculações e a interação coagulante-recirculação, a 1% de probabilidade, influenciaram a concentração de DBO₅ nas amostras de ARDC.

A DBO₅ obtida referente aos pontos de entrada e saída do sedimentador mostram uma tendência de redução após o processo físico-químico de coagulação/sedimentação. O tratamento onde se verificou maior redução foi na ARDC foi com sulfato férrico, seguido do sulfato de alumínio, 71,3 e 110%, respectivamente.

Quadro 22 - Valores médios de DBO₅ em função do número de recirculações e

do tipo de coagulante.

Recirculação	Sem	Sulfatos	Sulfato de	Extrato de Sementes de
Kecii cuiação	Coagulante	Férrico	Alumínio	Moringa
1	2109Ac	2060Ac	1703Ac	1353Ac
2	3070Ac	2398ABbc	2112ABbc	1903Bbc
3	4179Ab	3221ABab	2336Bbc	2313Bbc
4	5222Aa	3666Ba	2867BCab	2647Cb
5	5373Aa	3530Ba	3577Ba	3705Ba

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula, nas linhas, e minúscula, nas colunas, não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.3.2 Avaliação da eficiência do processo físico de filtração no sistema de tratamento da ARDC.

4.3.2.1 Sólidos Sedimentáveis

Com relação à parte física do tratamento, a filtração, verificou-se nos tabelas 8, 9, 10 e 11 a tendência de redução após a filtragem.

Na ARDC sem coagulante não houve ocorrência de sólidos sedimentáveis. Quando adicionado sulfato férrico a ARDC foi observada redução de sólidos sedimentáveis de 54 a 60%. A ARDC tratada utilizando o extrato de semente de moringa praticamente não foi observado a presença de sólidos sedimentáveis na entrada nem na saída do filtro orgânico, provavelmente a remoção obtida no sedimentador.

Acredita-se que a redução do P2 para P3 seja devida à remoção de SP obtida no filtro orgânico que retém flocos formados e que não foram retidos no sedimentador. Os valores obtidos de eficiência do filtro orgânico é inferior aos obtidos em trabalhos anteriores, porém, o material utilizado como meio filtrante são diferentes mostrando que o pergaminho do grão de café beneficiado tem menor capacidade de retenção do que o bagaço de cana-de-açúcar ou serragem de madeira testados anteriormente por LO MONACO (2001) e MAGALHÃES (2002) já que a granulometria utilizada foi a recomendada pelos mesmos como de melhor eficiência para filtros orgânicos com o material testados por estes autores.

4.3.2.2 Sólidos em Suspensão

Verificou-se a redução da concentração de sólidos suspensos na ARDC, ao longo do sistema de tratamento, com a adição de coagulantes .

Na tabela 16 pode-se verificar que, houve uma tendência de redução dos sólidos em suspensão em todos os tratamentos testados na etapa física do tratamento.

O filtro orgânico constituído de pergaminho de grãos de café beneficiado foi de fundamental importância no sistema proposto, verifica-se remoção de até 70 % dos sólidos suspensos na ARDC sem coagulante, para a ARDC com sulfato férrico a remoção foi de 60% e de 30% na ARDC com sulfato de alumínio. A ARDC tratada com extrato de semente de moringa observou-se remoção de sólidos em suspensão em torno de 45%. Segundo von SPERLING (1996), a eficiência de remoção dos sólidos suspensos no tratamento primário do esgoto doméstico está na faixa de 60 a 70 %.

A redução de sólidos em suspensão da ARDC é importante para que não ocorra o entupimento do sistema de aspersão utilizado no equipamento de lavagem do fruto do cafeeiro, durante o processamento, e também para uma posterior utilização desta água na fertirrigação de culturas agrícolas. A diminuição da concentração de SS nessas águas reduz problemas de entupimento em sistemas de aplicação localizada, principalmente se for utilizado o gotejamento.

4.3.2.3 Sólidos Totais

Como pode ser observado na tabela 8, 9, 10 e 11, houve uma tendência de redução dos sólidos totais com a filtragem da ARDC. A maior redução dos sólidos totais, foi obtida pelo filtro, no tratamento onde foi adicionado o coagulante sulfato férrico eficiência de 42%.

Pelos dados apresentados na tabela 17, pode-se verificar que estatisticamente foi significativa a redução dos sólidos totais nos ponto de amostragem na saída do sedimentador (P2) diferiu do ponto de coleta à saída do filtro orgânico (P3), tendo sido obtido maior concentração média de ST à entrada do sedimentador (P2). Isso implicou na redução da concentração de sólidos totais no sistema de tratamento da ARDC, da saída do sedimentador (P2) para a saída do filtro orgânico (P3).

4.3.2.4 Turbidez

Após a passagem pelo filtro orgânico verificou-se a melhor eficiência na ARDC onde foi adicionado sulfato férrico uma redução em torno de 50%. Na tabela 17, verificou-se que a turbidez da água do efluente do sedimentador e do efluente do filtro orgânico não diferiram entre si, sendo consideradas estatisticamente iguais.

4.3.2.5 Condutividade Elétrica

Encontram-se apresentadas na tabela 17, as médias da CE na ARDC coletada em diferentes pontos do sistema de tratamento e, em relação ao número de recirculações, na tabela 18. No que se refere ao ponto de coleta das amostras, verificou-se que a CE na entrada do filtro orgânico (P2) não diferiu estatisticamente da coletada na saída do filtro orgânico (P3).

Quando utilizado o sulfato férrico no tratamento da ARDC, observou-se que, até a segunda recirculação, a CE estava entre 0,25 e 0,75 dS m⁻¹, a 25°C, sendo classificada com classe C2, salinidade média. Ainda em relação a ARDC onde foi adicionado o sulfato de alumino, observa-se que após a filtragem da ARDC, em todas as recirculações conseguiu a redução da CE a ponto da ARDC ser classificada novamente como de classe C2.

4.3.2.6 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Na tabela 17 podendo-se verificar que houve diferença significativa entre os pontos de amostragem e que as médias decresceram da entrada do filtro orgânico (P2) até a saída do mesmo (P3). Esta redução se deve a diminuição da concentração dos poluentes orgânicos e inorgânicos presentes na ARDC durante o processo físico de tratamento da mesma de filtração.

Na ARDC sem adição de coagulante verificou-se uma redução de 10% da DQO após a passagem pelo filtro e para os demais tratamentos uma redução de

16 % para o sulfato de alumínio, 20% para o sulfato férrico e de 17% para o extrato de semente de moringa.

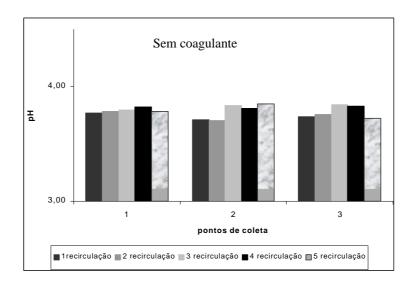
4.3.2.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

Nos tabelas 8, 9, 10 e 11, observou-se uma pequena redução da DBO após a passagem pelo filtro orgânico, o que se deve provavelmente ao material orgânico que ficou retido no mesmo durante a filtragem, este fato foi observado em todas as recirculações em todos os tratamentos.

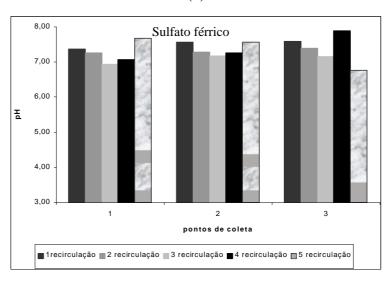
4.3.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

Com relação ao pH da ARDC, não foram verificados efeitos (P > 0,001) dos tratamentos para nenhuma das fontes de variação (Quadro 12).

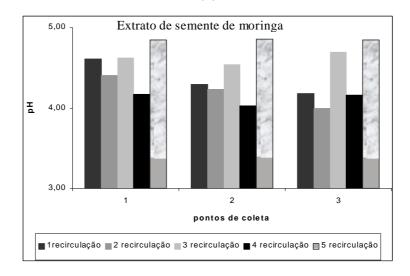
Na Figura 16 a, b, c e d, o pH da ARDC encontrado foi menor que 7,0, indicando condições de acidez da mesma, para os diferentes coagulantes estudados. Na ARDC que não recebeu a adição de coagulantes, houve pequena variação nos valores do pH, sendo verificado condições mais ácidas do que as encontradas na ARDC quando tratada com os coagulantes sulfato férrico, sulfato de alumínio e com extrato de semente de moringa. O pH inicial dos coagulantes sulfato férrico e sulfato de alumínio se encontravam na faixa de 7 a 8 e o final na faixa de 4 a 5. Este decréscimo do pH se deve as reações de solubilização e consumo de H⁺ dos coagulante na ARDC.



(a)



(b)



(c)

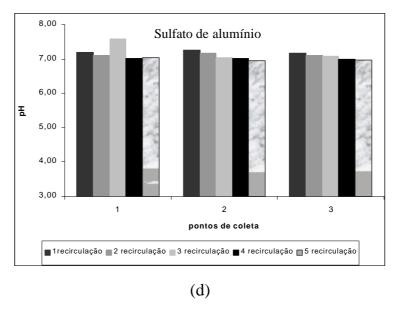


Figura 16 – Valores médios do pH em cada ponto de coleta, para cada recirculação, na ARDC sob diferentes tratamentos: (a) sem coagulante, (b) sulfato férrico, (c) extrato de semente de moringa e (d) sulfato de alumínio.

4.3.4 Concentração de Alumínio e Ferro

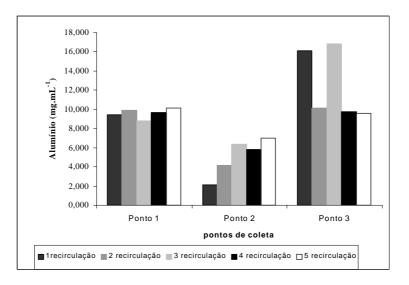


Figura 17 – Valores médios de alumínio remanescente em cada ponto de coleta, para cada recirculação, na ARDC, quando utilizado como coagulante sulfato de alumínio.

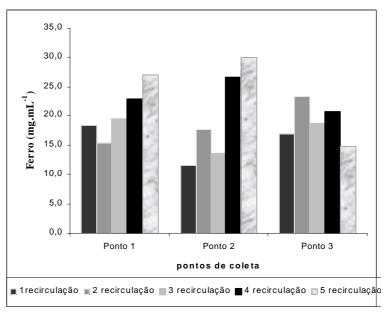


Figura 18 – Valores médios de ferro remanescente em cada ponto de coleta, para cada recirculação, na ARDC, quando utilizado como coagulante sulfato férrico.

A concentração de alumínio e de ferro presente na ARDC coletada na entrada do sedimentador (P1) foi maior do que a observada na saída do mesmo (P2), essa redução pode estar relacionada com a sedimentação de flocos formados com o coagulante e que, se depositaram no fundo do sedimentador, não mais permaneceram na água em recirculação. Em relação à saída do sedimentador (P2) e a saída do filtro orgânico (P3), houve, porém, aumento da concentração de alumínio e de ferro em solução. Acredita-se que isso seja devido ao acúmulo de flocos de material, contendo alumínio, no material filtrante e que foi lixiviado para a água em recirculação, à medida que a água foi sendo recirculada. Pode-se ainda afirmar que, comparando-se as concentrações presentes na entrada do sedimentador (P1), que não houve grande variação na concentração de alumínio na ARDC com o tipo de coagulante, no entanto, foi verificado na ARDC coletada na saída do sedimentador (P2), tendência de aumento na concentração de alumínio a cada recirculação.

Com relação à concentração de ferro residual na ARDC, verificou-se tendência de aumento com o número de recirculações.

Em análises de lixiviação e solubilização do material filtrante, a fim de verificar uma possível interferência do mesmo em relação ao acréscimo de

alumínio e ferro após a passagem pelo filtro orgânico de pergaminho do grão de café beneficiado, verificou-se uma concentração de 6,48 mg L⁻¹ e 6,04 mg L⁻¹ de alumínio e de ferro, respectivamente, estes valores são menores que os observados no efluente do filtro, indicando que possivelmente o acréscimo de alumínio e ferro observado na saída do filtro orgânico deve-se à quebra de flocos e a lixiviação de parte do material retido no filtro orgânico durante o processamento e não, propriamente, a disponibilização desses elementos pelo material filtrante.

4.3.5 Qualidade de bebida e contaminação fúngica dos grãos processados com água em recirculação.

Verificou-se, avaliando os dados apresentados na Tabela 28, não haver nenhuma correlação entre os tratamentos da ARDC e a qualidade final dos grãos, no que se refere à bebida, sendo observado que, em sua maioria, os grãos foram classificados como de bebida *Mole* ou *Apenas mole*. Isso significa que, os grãos processados com água em recirculação obtiveram boa classificação no que se refere ao critério de bebida, ou seja, foram considerados como proporcionadores de bebida de sabor suave. GARRUTI e CONAGIN (1961), classificam, quanto à qualidade de bebida, grãos de bebida *Mole* aqueles que apresentam características organolépticas de sabor suave acentuado e adocicado e grãos de bebida *Apenas mole* àqueles que apresentam características organolépticas de sabor suave, porém com leve adstringência.

Apesar da ARDC após várias recirculações ter aumentado significativamente a concentração de material poluente, não houve alteração na qualidade dos grãos processados com a ARDC com coagulante e a ARDC sem coagulante, conseguiu-se uma melhora da qualidade da ARDC quando adicionado coagulante, porém este fato não interferiu na qualidade final do grão. Acredita-se que isso se deve ao fato do grão estabelecer apenas um breve contato com a água durante o processamento do grão não possibilitando dessa forma a depreciação do grão.

Na tabela 23 está apresentado um resumo da análise de variância dos fungos detectados nos grãos processados com a ARDC sob recirculação, em função do tipo de coagulante, dos pontos de amostragem no sistema de tratamento da ARDC e do número de recirculações.

Avaliando-se os resultados apresentados na tabela 23, para os fungos onde ocorreu efeito significativo, procedeu-se ao desdobramento pelo teste de médias.

Verificou-se na tabela 24, que no tratamento 1, ARDC sem coagulante foram encontrados as maiores médias, significando maior contaminação fúngica na ARDC onde não fora adicionado coagulante, com isso conclui-se que na ARDC com recirculação o uso de coagulantes diminui a ocorrência de fungos na superfície dos grãos

Na tabela 25, observou-se que para o fungo *A. niger/carbo* sem esterilização não foi constatada diferença significativa entre os tratamentos e as recirculações.

Verificou-se na tabela 26 que o fungo *A. restrictus* foi encontrado em maior quantidade, após esterilização da amostra, com a recirculação na ARDC sem coagulante, obtendo a maior média na recirculação 5. As médias referentes ao fungo *A. restrictus*, obtidas após esterilização das amostras de grãos processados com os coagulantes sulfato férrico e extrato de semente de moringa não diferiram com o número de recirculações.

Na tabela 28, observou-se expressiva redução do número de grãos contaminados com fungos quando utilizado o sulfato de alumínio como coagulante. Acredita-se que o alumínio possa ter atuado como agente fungicida.

Apesar da verificação de maior presença de fungos nas amostras de grãos processados com ARDC sem a adição de coagulantes, após a esterilização das amostras de grãos, houve expressiva redução na presença desses microrganismos, o que é um indicativo de que esses se encontravam sobre a superfície do grão, condição não considerada como fator de depreciação do grão. No entanto, torna-se importante ressaltar que, se esses grãos forem armazenados de forma inadequada e se a atividade da água superar o valor de 0,7, haverá o

desenvolvimento de colônias na superfície do grão, podendo, vir a causar depreciação do produto.

Quadro 23 – Resumo da análise de variância da contaminação fúngica dos grãos processados com água residuária da lavagem e despolpa do cafeeiro em recirculação.

Quadrados Médios															
FV	GL	A. ru	ıber	A. niger/c	arbo	A. rest	rictus	Fusa	rium	Cladospoi	rium	A ochrac	eus	A.candi	dus
	-	S. E.	C. E	S. E.	C. E	S. E.	C. E	S. E.	C. E	S. E.	C. E	S. E.	C. E	S. E.	C. E
COAGULANTE (COAG.)	3	183,8667**	12,1333**	4,6667 ^{NS}	0	352,0000**	24,0000**	98,6667 ^{NS}	40,0000 ^{NS}	4,8000 ^{NS}	0	15,4667**	0	0,5333 ^{NS}	0
RESÍDUO (a)	4	11,6000	2,0000	2,0000	0	33,6000	0,8000	61,6000	24,0000	4,0000	0	2,4000	0	0,8000	0
RECIRCULAÇÂO (RECIR)	4	$28,4000^{NS}$	$8,4000^{NS}$	1,6000 ^{NS}	0	202,6000 ^{NS}	19,4000**	27,4000 ^{NS}	$3,6000^{NS}$	$1,4000^{NS}$	0	1,0000 ^{NS}	0	$0,6000^{NS}$	0
RECIR. X COAG.	12	41,2000 ^{NS}	10,8000 ^{NS}	10,6667*	0	151,6667 ^{NS}	15,6667**	18,3333 ^{NS}	14,0000 ^{NS}	3,8000 ^{NS}	0	4,4667 ^{NS}	0	0,8667 ^{NS}	0
RESIDUO (b)	16	49,6000	9,0000	4,0000	0	87,6000	1,8000	38,6000	29,0000	4,0000	0	8,4000	0	0,8000	0
CV(%) PARCELA		47,97	128,56	83,89	0	43,91	63,88	118,92	128,92	30,77	0	258,20	0	89,44	0
CV(%) SUBPARCELA		99,193	272,73	117,65	0	70,90	95,83	94,135	141,71	78,7	0	333,33	0	289,83	0

^{** -} F significativo a 1%

^{*-} F significativo a 5%

NS – F não significativo a 5%.

SE – sem esterilização,

CE – com esterilização.

Quadro 24 - Valores médios da contaminação fúngica com e sem esterilização

em função do coagulante.

Tratamento	SE1	SE3	SE5	SE7	CE1
1	12,800A	18,4000A	8,8000A	0,0000A	1,6000A
2	8,0000AB	16,0000A	10,0000A	0,8000A	2,4000A
3	3,6000B	4,8000B	0,4000B	0,4000A	0,0000A
4	4,0000B	13,6000AB	6,8000AB	2,8000A	0,4000A

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula, nas linhas, não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

SE1 - A ruber, SE3 - A. restrictus, SE5 - Cladosporium, SE7 - A. candidus, CE1 - A ruber.

Tratamento 1 - sem coagulante, tratamento 2 - sulfato férrico, tratamento 3 - sulfato de alumínio e tratamento 4 - extrato de semente de moringa.

Quadro 25 - Valores médios da contaminação fúngica referente ao fungo *A. niger/carbo* (SE2) em função do número de recirculações e do tipo de coagulante.

Recirculação	Sem Coagulante	Sulfata Eánnias	Sulfato de	Extrato de Sementes de
	Sem Coagulante	Sunato Ferrico	Alumínio	Moringa
1	2,0000Aab	2,000Aa	0,0000Aa	2,0000Aa
2	0,0000Ab	4,0000Aa	0,0000Aa	2,0000Aa
3	8,0000Aa	0,0000Ba	0,0000Ba	2,0000Ba
4	0,0000Ab	0,0000Aa	4,0000Aa	2,0000Aa
5	2,0000Aab	2,0000Aa	0,0000Aa	2,0000Aa

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula, nas linhas, e minúscula, nas colunas, não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Quadro 26 - Valores médios da contaminação fúngica referente ao fungo *A. restrictus* (CE3) em função do número de recirculações e do tipo de coagulante.

D : 1 ~	G G 1 4	Sulfato Férrico	Sulfato de	Extrato de Sementes de
Recirculação	Sem Coagulante		Alumínio	Moringa
1	2,0000Ab	0,0000Aa	0,0000Ab	2,0000Aa
2	0,0000Ab	0,0000Aa	0,0000Ab	0,0000Aa
3	0,0000Ab	0,0000Aa	0,0000Ab	0,0000Aa
4	4,0000Ab	0,0000Ba	6,0000Aa	0,0000Ba
5	12,000Aa	0,0000Ba	0,0000Bb	2,0000Ba

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula, nas linhas, e minúscula, nas colunas, não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

5 – RESUMO E CONCLUSÕES

O processamento dos frutos do cafeeiro por via úmida reduz o custo de secagem dos grãos e melhora a qualidade de bebida, entretanto gera um grande volume de água rica em material orgânico e inorgânico, com baixa qualidade e com restrições para seu uso. No intuito de reduzir o consumo de água utilizado durante o processamento dos frutos do cafeeiro (ARDC), tem-se procurado recircular a água de processo, por varias vezes, para lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. Sabe-se, porém, que a cada recirculação da ARDC ocorre aumento da carga orgânica, sendo, portanto indicado o tratamento dessa água a fim de que se possa reduzir a contaminação da mesma. Dentre os tratamentos propostos para tratamento das águas de processo, em recirculação, estão aqueles que incluem as etapas de coagulação, decantação e filtração.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o efeito do uso de diferentes coagulantes e do sistema coagulação/sedimentação/filtração na melhoria da qualidade da água em recirculação na despolpa de frutos do cafeeiro (ARDC), além de avaliar a contaminação fúngica dos grãos e a qualidade da bebida do café proveniente do processamento com águas recirculadas, sob diferentes condições de tratamento.

Os ensaios utilizando o aparelho Jar-test foram realizados com os coagulantes sulfato férrico, sulfato ferroso clorado, sulfato de alumínio, cloreto férrico e extrato de semente de moringa, nas concentrações de 0,0; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 g L⁻¹, nas faixas de pH 4 a 5; 5 a 6; 6 a 7 e 7 a 8. No ensaio da coluna de sedimentação, foram utilizados aqueles coagulantes que proporcionaram os melhores resultados, em termos de decantabilidade, no ensaio com o Jar-test. A coluna de sedimentação foi constituída por um tubo de acrílico de 1m de comprimento e 100 mm de diâmetro, contendo registros, espaçados a cada 20 cm, para coleta de amostras da água em estudo, em diferentes profundidades.. Durante as 2 horas de teste, foram coletadas amostras a cada 20 minutos em todos os pontos da coluna de sedimentação, fazendo-se análise da concentração de sólidos em suspensão em cada amostra. Utilizando-se um protótipo em

acrílico, constituído de grade, vertedor triangular (misturador hidráulico), canal, sedimentador e filtro orgânico (tendo o pergaminho de grãos de café como material filtrante), foi avaliada a eficiência de remoção de sólidos dissolvidos por meio da condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos sedimentáveis, turbidez, DBO, DQO, além da alteração do pH. O sistema de tratamento foi avaliado coletando-se amostras da ARDC em até cinco recirculações, com três repetições para cada tratamento (tipo de coagulante adicionado a ARDC). Em amostras da ARDC que recebeu sulfato de alumínio e sulfato férrico, fêz-se também análise das concentrações de Al e Fe nos efluentes.

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- a) Teste realizado com o aparelho "Jar-test",
- \bullet O extrato de semente de moringa apresentou maior remoção de sólidos suspensos na faixa de pH 4 a 5 e dose de 10 mL $L^{-1}.$
- Os coagulantes sulfato férrico, sulfato de alumínio e cloreto férrico, a concentração que proporcionou maior remoção de SS, dentre as avaliadas foi de 3 g L⁻¹, para uma faixa de pH 7 a 8 e, no caso do sulfato ferroso clorado, concentração de 3 g L⁻¹ e pH na faixa de 4 a 5.
- b) Ensaios na coluna de sedimentação
- A ARDC que não recebeu coagulantes não houve redução na concentração de sólidos em suspensão em relação ao tempo e nem em relação à profundidade, permanecendo a concentração desses sólidos constante.
- O extrato de semente de moringa, sulfato férrico e sulfato de alumínio proporcionaram remoções em torno de 80% na concentração de sólidos em suspensão.
- c) No ensaio de tratamento da ARDC no protótipo,
- A ARDC que não recebeu a adição de coagulantes durante o processo de recirculação da água, teve aumento contínuo dos valores de todas as variáveis analisadas.

- O extrato de semente de moringa proporcionou eficiente remoção de sólidos em suspensão da ARDC, podendo ser considerado como boa alternativa para o tratamento dessa água, principalmente por se tratar de coagulante natural.
- O sulfato férrico foi o coagulante mais eficiente para a remoção de DBO₅,
 DQO e CE da ARDC.
- Em relação à contaminação fúngica, o coagulante sulfato de alumínio proporcionou significativa diminuição na quantidade de fungos presentes nos grãos processados com água em recirculação.
- A adição de coagulantes na ARDC não proporcionou diferenças significativas na qualidade de bebida de grãos de café, em escala laboratorial.
- O coagulante extrato de semente de moringa tem um tempo de detenção seis vezes maior do que o usualmente utilizado para os coagulantes químicos avaliados, exigindo, portanto maior disponibilidade de área e maior dimensão da estrutura para o tratamento da ARDC.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL AZHARIA JAHN S., Proper use of African natural coagulants for rural water supplies: reseca in the sudan and guide for new projects, GTZ, 1986, p. 541.
- ALVES, E. **População fúngica associada ao café** (*Coffea arábia L.*) beneficiado e as fases pré e pós-colheita relação com a bebida e local de cultivo. MSc thesis, UFLA, Lavras, Brasil, pp.49.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20. ed. Washington D.C.: 1998. 1000p.
- ANDRADE NETO, C. O. **Sistema simples para tratamento de esgoto sanitários** Experiência Brasileira. Rio de janeiro. ABES 1997.301p.
- AWWA AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Água – Tratamento e Qualidade** (tradução). Centro de Publicações Técnicas da Aliança. Rio e Janeiro. 1964. 465 p.
- BÁRTHOLO, G.F.; GUIMARÃES, P. T. G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, v. 18, n. 187, p. 33-42, 1997.
- BÁRTHOLO, G.F.; MAGALHÃES FILHO, A.A.R.; GUIMARÃES, P.T.G.; CHALFOUN, S.M. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. **Informe Agropecuário**, v. 14, n. 162, p. 33-44, 1989.
- BITANCOURT, A. A. O tratamento das cerejas de café para melhorar a bebida. Biol São Paulo. 1957.
- BRANDÃO, V. S.; MATOS, A.T.; MARTINEZ, M.A. & FONTES,M.P.P. Tratamento de águas residuárias de suinocultura utilizando filtros orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 4, n. 3, p.327-333,2000.
- BRESSANI, R.; ESTRADA, E.; ELIAS, L. G.; JAQUIN, R.; VALLE, L. U. **De pulpa y pergaminho de cafe.** IV Efecto de la pulpa de cae deshidratada en la dieta de ratas y pollos. Turrialba, 1972.

- BOTELHO, C. G.; CAMPOS, C. M.; VALLE, R. H. P.; SILVEIRA, I.A.

 Recursos naturais renováveis e impacto ambiental: água.

 Universidade Federal de Lavras UFLA. 187 p. 2001.
- BUENO, C. F. H. **Instalações para o beneficiamento do café.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 17,Poços de Caldas, 1998. **Anais...**Poços de Caldas, MG: UFLA/SBEA, 1998.
- CAMPOS, J. M. C. Contaminación Del água em Costa Rica por resíduos Del procesamiento Del café y de la porcinocultura. In: Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Santiago: Fao, 1993. p.113-124. (Informe sobre temas hídricos, n.1).
- CAMPOS, J. R.; POVINELLI, J. **Coagulação**. In : Técnica de abastecimento e tratamento de água. São Paulo: CETESB, 1974. V.2, cap 21, p 711 751.
- CARVALHO, V. D. de; CHALFOUN, S. M. Aspectos qualitativos do café. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.11, n. 126, p. 79-92, 1985.
- CARVALHO, V.D.; de; CHALFOUN, S.MS.; CHAGAS, S.J. de R. Relação entre classificação de café pela bebida e composição físico-química, química e microflora do grão beneficiado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15, Maringá, 1989. Resumos...Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1989, P.25-26.
- CHADIK, P. A.; AMY, G. L. Removing trihalomethane precursors from various natural waters by metal coagulants. Journal American Water Works Association, 1983, p 532-536.
- CHALFOUN, S. M. O café (Coffea arábica L.) na região Sul de Minas Relação da qualidade com fatores ambientais, estruturais e tecnológicos. Lavras: Ufla, 1996, 125 p. (Dissertação Doutorado em Fitotecnia).
- CHERNICHARO, C.A.L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores** anaeróbios: Belo Horizonte. p.544, 2001.

- DELGADO, E. A.; BAROIS, I. Lombricompostaje de la pulpa de café em México. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE BIOTECNOLOGIA NA AGROINDÚSTRIA CAFEEIRA, 3. **Anais**... Londrina, PR, 1999. p. 335-343.
- DEMPSEY, B. A., GANHO, R. M., O'MELIA, C. R. The coagulation of humic substance by means of aluminum salts. Journal American Water Works Association, p 64-77, January, 1995.
- DI BERNARDO, L. **Tecnologias de tratamento de água com filtração rápida.**In: SEMINARIO INTERNACIONASL SOBRE SELECION DE TECNOLOGIA PARA EL MEJORAMIENTO DE AL CALIDADE DEL AGUA, 2000, Santiago de Cali, Peru.
- DREW PRODUTOS QUÍMICOS LTDA. **Princípios de tratamento de água industrial**. Novo Grupo Editora Técnica Ltda. São Paulo Brasil. 1979.
- FREBER, M. C. A. Aproveitamento de material orgânico utilizado como filtro no tratamento de águas residuarias da suinocultura Dissertação de (mestrado em Engenharia Agrícola)- UFV Viçosa- MG. 130p. 2000.
- FREDERICO, E. A., GARZUZI, M. P., MOZETO, A. A. Remoção de compostos orgânicos naturais no processo convencional de tratamento de água: influência do pH e da dosagem de coagulante na eficiência do processo. In: 20° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1999. p 1059 1067.
- FRÓES, C. M. B. Outorga de Direito de uso de Recursos Hídricos. Anais... II Encontro de Preservação de Mananciais da Zona da Mata Mineira.-Viçosa- UFV- 2002. p.503 528.
- GAO, B. Y.; HAHN, H. H.; HOFFMANN, E. Evaluation of aluminum-silicate polymer composite coagulant for water treatment. **Water Research** (xx) xx. 2002 (article in press).
- GARRUTI, R. S.; CONAGIN, A. Escala de valores para avaliação da qualidade de bebida de café. Bragantina, Campinas, v.20, p. 557 562, 1961.

- JACANGELO, J.G., DeMARCO, J., OWEN, D. M., RANDTKE, S. J. Select processes for removing NOM: an overview. Journal American Water Works Association. P. 141-150, April 1984.
- JOOSTEN, H. M. L. J.; GOETZ, J.; PITTET, A.; SCHELLENBERG, M.; BUCHELI, P. **Production of ochratoxina A by Aspergillus carbonarius on coffee cherries.** International Journal of food Microbiology. 65p. 39-44. 2001.
- KAVANAUGH, M. C. Modified coagulation for improved removal of trihalomethane precursors. Journal American Water Works Association, 1978. p613-620.
- LACERDA, L. A. O.; MIARELI, M.; DAVOLI J. Z.; CARVALHHO, R.; LOPES, I. C.; GUERRA NETO, E. G.; KANASHIRO, J. K.;LUZIN, N. R.; SANTINATO, R.; CORTES, J. G.; PAES DE CAAMARGO, A.; TEIXEIRA, A. A.; OLIVEIRA, N. A.; SANTINI, M. Influência da técnica de colheita e preparo na qualidade do café, em diferentes regiões cafeeiras do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 14, Campinas, 1987. Resumos... Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1987. p. 272-275.
- LEVI, C. Mycotoxins in coffee. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 63, 1980,p. 1282-1285.
- LIMA, M. R. A.; REALI, M. A. P. Tratamento físico-químico das águas residuarias de uma industria de papel utilizando-se a flotação por ar dissolvido. Anais... 19ºcongresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1999.
- LO MONACO, P.A. Influência da granulométrica do material orgânico filtrante na eficiência de tratamento de águas residuária. Viçosa: UFV, 2001. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- MACHADO, M.C.; SAMPAIO, C. P.; SILVA, J. S. Estudo comparativo de sistemas de secagem de café: aspectos técnicos- econômicos. In:

- Anais... III Simpósio de Pesquisas dos cafés do Brasil. Porto Seguro, BA. 2003. (no prelo).
- MAGALHÃES, M.A. Parâmetros para projeto e operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. Viçosa: UFV, 2002. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- MATOS, A. T. Poluição ambiental e seus efeitos Brasília, DF: ABEAS; Viçosa: UFV; DEA, 2001. 121p.
- MATOS, A. T.; LO MONACO, P. A.; SILVA, J. S. Tratamento de águas residuárias. In: **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas - Tecnologia e custos**. Juarez de Sousa e Silva, JARD Editora, Viçosa: UFV, CBP&D-Café, 2001b. 162 p.
- MATOS, A. T.; LO MONACO, P.A.; GARCIA, G.O. Caracterização dos resíduos sólidos e líquidos no processamento dos frutos do cafeeiro. http://www.ufv.br/poscolheita/aguas/caracterizacao.htm. dia 29/01/2003.
- MATOS, A. T. **Tratamento e Destinação Final dos Resíduos Gerados no Beneficiamento do Fruto do Cafeeiro.** In: Produção Integrada de Café. Viçosa: UFV; DFP, 2003a. P.647 704.
- MATOS, A.T.; PINTO, A.B.; BORGES, J.D. Caracterização das águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro e possibilidades de seu uso na fertirrigação. In: III SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE BIOTECNOLOGIA NA AGROINDÚSTRIA CAFEEIRA, Londrina-PR, 2000. **Anais**, Londrina: UFPR, IAPAR, IRD, 2000. p. 345-355.
- MEIRELLES, A. M. A., Ocorrência e controle da microflora associada aos frutos de café (*Coffea arábica L.*) provenientes de diferentes localidades do estado de Minas Gerais. Tese de Mestrado, UFLA, Lavras, 1990, p. 71.
- METCALF & EDDY Wastewater engineering: Treatment, disposal and resuse.Inc 3 ed, p 1334.

- NASCIMENTO FILHO, D.G. Filtração direta descendente, seguida de coluna de carvão ativado granulado, na remoção de ferro em águas subterrâneas In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

 Anais... João Pessoa. PB. 2001.
- NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S.; TALBOLT, B.G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. Water Research. (29) 02 703-710. 1994.
- NIELSEN, J.N., LYNGGAARD JENSEN, A., HASLING, A. Purification efficiency of Danish biological sand filter systems. **Water Science Technology**, v. 28, n. 10, p. 89-97, 1993.
- NOGUEIRA, V. S. Preparo do café. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Eds.). Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 423-432.
- NOGUEIRA, F. D.; SILVA, E. B.; GUIMARÃES, P. T. G. Adubação potássica do cafeeiro: sulfato de potássio. Washington, DC: SOPIB, 2001. 81p.
- NOZAKI, J., BARROS, M. J. Redução de poluentes de efluentes das industrias de papel e celulose pela floculação /coagulação e degradação fotoquímica. Química Nova, vol- 25, N°5.736-740,2002.
- PAVANELLI, G. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. Tese de Mestrado São Carlos, 2001.
- PIMENTA, C. J.; VILELA, E. R. Qualidade do café (coffea arábica L), lavado e submetido a diferentes tempos de amontoa no terreiro. Revista Brasileira de Armazenamento. Viçosa, v.2, p. 3-10, 2000. Especial.
- POVINELLI, J., MARTINS, F. **Pesquisa sobre a eficiência de filtros lentos em unidades pilotos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 7, 1973, Salvador BA. Separata. São Carlos: EESC USP, 1973. 20p.

- RAMALHO, R. S. Tratamento de Águas Residuales. Quebec, Canadá 1996.
- RANGEL, M. S. Moringa Oleifera: Um purificador natural de água e complemento alimentar para o Nordeste do Brasil. http://www.jardimdeflores.com.br/floresefolhas/A10moringa.htm. Em 29/10/2003.
- REMI TRIER Uso da semente do gênero Moringa: uma proposta alternativa para a clarificação das águas brutas no nordeste. Recife, 1995.
- REIS, A. de S. **Zoneamento agroclimático para a cafeicultura em Pernambuco.** Recife: IPA, 1972. p 24.(Boletim Técnico,52).
- SAUCEDO, C. G.; ROMANO, M. J. M.; GUTIÉRREZ, S. G.; DELGADO, V. F.; RAMIREZ, R. G.; PERRAUD, G. Experiência mexicana de valorización biotecnologica de subprodutos de la agroindústria del café. In: INTERBATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFE AGROINDUSTRY, 3, Londrina, 2000. PROCEEDINGS... londrina, PR:UFPR, IAPAR, IRD, 2000. p.329-334.
- SEMMENS, M. J., FIELD, T. K. Coagulation: experiences in organic removal. Journal American Water Works Association. 1980.p 476-483.
- SEMERJIAN, L.; AYOUB, G.M.; EL-FADEL, M. High pH-magnesium coagulation-flocculation in wastewater treatment. **Advances in Environmental Research**. (xx)xx. 2002. (article in press).
- SILVA, F. J. A.; SILVEIRA NETO, J. W.; MOTA, F. S. B.; SANTOS, G.P. Descolorização de efluente da indústria têxtil utilizando coagulante natural (*Moringa oleifera* e quitosana). In: 21° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** João Pessoa. PB. 2001.
- SILVA, C. F.; SCHWAN, F.; DIAS, E. S.; WHEALS, A. E. Microbial diversity during maturation and natural processing of coffee cherries of coffea arbica in Brazil. International Journal of Food Microbiology. 60p. 251-260.2000.
- SILVA, J. S. Secagem e armazenagem de café: tecnologia e custos Viçosa: UFV, CBP&D Café, 2001.

- SILVA, J. S.; BERBET, P. A. Colheita, secagem e armazenamento de café. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 1999. 146p.
- SILVA, O. M.; LEITE, C. A. M. Competitividade e custos do café no Brasil. In:
 Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade. Viçosa, MG:
 UFV, Impr. Univ., 2000. p. 27-50.
- SOUZA, S. M. C. de O café (coffea arábica l.) na região sul de Minas Gerais: relação da qualidade com fatores ambientais, estruturais e tecnológicos. Lavras: UFLA, 1996. 171p. (teses de Doutorado).
- SPINELLI, V. A.; SENS, M. L.; FÁVERE, V. T. Quitosana, polieletrólito natural para o tratamento de água potável. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** João Pessoa. PB. 2001.
- STEEL, E. W., MCGHEE, T.J. Water suplly and sewerage. 5. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1979. 665p.
- VASCO, J. Z. Procesamiento de frutos de café por via humeda y generación de subprodutos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE BIOTECNOLOGIA NA AGROINDÚSTRIA CAFEEIRA, 3. Anais... Londrina, PR: UEL, 2000. p. 345-355.
- VEGRO, C. L. R.; CARVALHO, F. C. Potencialidades de uso de resíduos e subprodutos do processamento agroindustrial do café. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE BIOTECNOLOGIA NA AGROINDÚSTRIA CAFEEIRA, 3. **Anais...** Londrina, PR: IAPAR/IRD, 2000. p. 357-359.
- VIEIRA, A. F. T. Estudo de viabilidade técnica e econômica da utilização do sulfato ferroso em tratamento de águas de abastecimento. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1999. p 1408-1418.
- VIEIRA, M.; CARVALHO, G. Perspectivas para cafés do Brasil. In: **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade.** Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2000. p. 75-89.
- VIANNA, M.R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água** Belo Horizonte, 2002 ed 4^a,576p.

VON SPERLING, M.. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2ª ed. 1996. 243 p.

APÊNDICE

Quadro 28 - Avaliação de qualidade de bebida.

LOTE	BEBIDA
LOTE MO1	APENAS MOLE
LOTE MO2	APENAS MOLE
LOTE MO3	APENAS MOLE
LOTE MO4	APENAS MOLE
LOTE MO5	APENAS MOLE
LOTE MO6	MOLE
LOTE MO7	APENAS MOLE P/ADST
LOTE MO8	DURO
LOTE MO9	MOLE
LOTE MO10	APENAS MOLE
LOTE MO11	APENAS MOLE
LOTE MO12	MOLE
LOTE MO13	MOLE
LOTE MO14	MOLE
LOTE MO15	MOLE
LOTE SC-1	MOLE
LOTE SC-2	APENAS MOLE
LOTE SC-3	DURO
LOTE SC-4	APENAS MOLE
LOTE SC-5	APENAS MOLE
LOTE SC-6	MOLE
LOTE SC-7	APENAS MOLE
LOTE SC-8	APENAS MOLE
LOTE SC-9	MOLE
LOTE SC-10	APENAS MOLE
LOTE SC-11	MOLE
LOTE SC-12	APENAS MOLE
LOTE SC-13	APENAS MOLE
LOTE SC-14	APENAS MOLE
LOTE SC-15	APENAS MOLE
LOTE SF-1	APENAS MOLE
LOTE SF-2	DURO
LOTE SF-3	ADSTRINGENTE
LOTE SF-4	APENAS MOLE
LOTE SF-6	APENAS MOLE
LOTE SF-7	APENAS MOLE
LOTE SF-8	DURO
LOTE SF-9	APENAS MOLE
LOTE SF-10	DURO A DENA S MOLE
LOTE SF-11	APENAS MOLE

LOTE SF-12	APENAS MOLE
LOTE SF-13	MOLE
LOTE SF-14	MOLE
LOTE SF-15	APENAS MOLE
LOTE SA-1	APENAS MOLE
LOTE SA-2	APENAS MOLE
LOTE SA-3	APENAS MOLE
LOTE SA-4	APENAS MOLE
LOTE SA-5	FERMENTADO
LOTE SA-7	MOLE
LOTE SA-8	APENAS MOLE
LOTE SA-9	MOLE
LOTE SA-10	MOLE
LOTE SA-11	DURO
LOTE SA-12	APENAS MOLE
LOTE SA-13	APENAS MOLE
LOTE SA-14	MOLE
LOTE SA-15	FERMENTADO

Lote MO = lote de grãos de café processados com ARDC tratada com extrato de semente de moringa.

Lote SC = lote de grãos de café processados com ARDC sem coagulante.

Lote SF = lote de grãos de café processados com ARDC tratada com sulfato férrico.

Lote SA = lote de grãos de café processados com ARDC tratada com sulfato de alumínio.

Quadro 29 - Avaliação da contaminação fúngica dos grãos processados com água residuária da lavagem e despolpa do cafeeiro em recirculação.

	recirculação.		uber	A. niger/carbo		A. restrictus		Fusarium		Cladosporium		A ochraceus		A.candidus	
rec	rec amostra	S.E.	C. E	S. E.	C. E	S. E.	C. E	S. E.	C. E	S. E.	C. E	S. E.	C. E	S. E.	C. E
1	Sem coagulante	16	1	2	0	24	2	8	6	4	0	4	0	0	0
2	Sem coagulante	10	2	0	0	26	0	4	6	10	0	2	0	0	0
3	Sem coagulante	8	0	8	0	20	0	4	4	14	0	0	0	0	0
4	Sem coagulante	14	0	0	0	8	4	4	2	6	0	0	0	0	0
5	Sem coagulante	16	6	2	0	14	12	10	4	10	0	0	0	0	0
1	Sulf. férrico	10	0	2	0	16	0	6	6	20	0	0	0	0	0
2	Sulf. férrico	18	10	4	0	12	0	12	8	4	0	0	0	4	0
3	Sulf. férrico	4	2	0	0	18	0	6	8	2	0	0	0	0	0
4	Sulf. férrico	6	0	0	0	10	0	10	4	16	0	0	0	0	0
5	Sulf. férrico	2	0	2	0	24	0	10	4	8	0	0	0	0	0
1	Sulf. alumínio	0	0	0	0	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0
2	Sulf. alumínio	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Sulf. alumínio	2	0	0	0	6	0	4	0	0	0	0	0	0	0
4	Sulf. alumínio	8	0	4	0	8	6	2	2	0	0	0	0	0	0
5	Sulf. alumínio	6	0	0	0	8	0	4	2	2	0	0	0	2	0
1	Moringa	10	2	2	0	6	2	4	4	4	0	0	0	4	0
2	Moringa	2	0	2	0	12	0	4	0	10	0	0	0	0	0

3	Moringa	2	0	2	0	40	0	12	2	8	0	4	0	4	0
4	Moringa	2	0	2	0	2	0	12	10	2	0	2	0	2	0
5	Moringa	4	0	2	0	8	2	14	2	10	0	0	0	4	0

Figura 19 — Gráfico referentes às equações ajustadas pelos dados obtidos, no ensaio com a coluna de sedimentação nas profundidades de 20 cm (a), 40 cm (b), 60 cm (c) e 80 cm (d)

