

LUIZ GUSTAVO DE REZENDE RAGGI

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA EM RECIRCULAÇÃO NO  
DESCASCAMENTO E DESMUCILAGEM DOS  
FRUTOS DO CAFEIEIRO

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola, para obtenção  
do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2006

LUIZ GUSTAVO DE REZENDE RAGGI

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA EM RECIRCULAÇÃO NO  
DESCASCAMENTO E DESMUCILAGEM DOS  
FRUTOS DO CAFEIRO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola, para obtenção  
do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 26 de julho de 2006

---

Prof. Paulo Roberto Cecon  
(Co-orientador)

---

Prof. Adílio Flauzino de Lacerda Filho

---

Prof. Mauri Martins Teixeira

---

Dr. Sérgio Maurício Lopes Donzeles

---

Prof. Antônio Teixeira de Matos  
(Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida e pela minha família.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Ao professor Antonio Teixeira de Matos, pela orientação responsável e segura e pela amizade.

Aos meus co-orientadores, professores Haroldo Carlos Fernandes e Paulo Roberto Cecon, pelos ensinamentos e pela participação.

Ao Laboratorista Simão, pela ajuda e dedicação ao trabalho.

Aos colegas de laboratório, Katiane e Ronaldo, pela ajuda e amizade.

Aos colegas da Fazenda Braúna, Afonso, Sérgio e Fátima, pela oportunidade e apoio ao desenvolvimento desse trabalho.

Aos meus colegas do CEDEF, pela amizade e convívio durante estes últimos anos.

A minha esposa Carolina e meu filho Felipe pela compreensão e paciência e apoio.

Aos meus pais e à minha irmã, pelo apoio, conforto e amizade nas horas difíceis.

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

## **BIOGRAFIA**

LUIZ GUSTAVO DE REZENDE RAGGI, filho de Luiz Aurélio Raggi e Maria das Dores Teixeira de Rezende Raggi, nasceu em Viçosa, Minas Gerais, no dia 01 de outubro de 1976.

Em 2002 graduou-se em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais.

Em março de 2004, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola da UFV, concentrando estudos na área de Manejo e Tratamento de Resíduos Agroindustriais, submetendo-se à defesa da tese em julho de 2006.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE QUADROS .....	vi
RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1. Separação sólido/líquido em águas residuárias .....	8
2.1.1. Peneiramento .....	8
2.1.2. Filtração .....	11
2.1.3. Sedimentação .....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	18
3.1. Descrição do sistema convencional de processamento via úmida dos frutos do cafeeiro instalado na Fazenda Braúna .....	18
3.2. Introdução da peneira pressurizada de malha no sistema tradicional .....	20
3.3. Operação do sistema de recirculação da água no processamento dos frutos do cafeeiro .....	22
3.4. Amostragem da água em recirculação e avaliação do desempenho da peneira pressurizada de malha .....	24
3.5. Eficiência na separação sólido/líquido .....	27
3.6. Análise estatística dos dados .....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	46
APÊNDICE .....	50

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Caixa d'água de abastecimento .....	19
Figura 2 – Vista da grade metálica da moega receptora .....	19
Figura 3 – Detalhe do lavador mecânico .....	19
Figura 4 – Detalhe das máquinas de descascamento e desmucilagem	19
Figura 5 – Vista frontal do tanque de decantação .....	19
Figura 6 – Esquema do sistema de beneficiamento de frutos do cafeeiro utilizado na avaliação da peneira pressurizada de malha .....	21
Figura 7 – Vista da peneira pressurizada avaliada .....	22
Figura 8 – Variação da qualidade da água em recirculação, sem passagem pela peneira pressurizada, no circuito curto .....	32
Figura 9 – Variação na qualidade do Afluente (AT) e efluente (DT) do tanque de decantação, sem passagem pela peneira pressurizada de malha .....	33
Figura 10 – Variação na qualidade do afluente (AP) e efluente (DP) da peneira pressurizada de malha, no circuito curto .....	36
Figura 11 – Variação na qualidade do afluente da peneira (AP), do efluente da peneira (DP) e do efluente do tanque de decantação (DT), no circuito longo .....	38

## LISTA DE QUADROS

	Página
QUADRO 1 - Volume de água e de frutos do cafeeiro usados na operação do sistema para a coleta de amostras do efluente das águas residuárias .....	29
QUADRO 2 - Modelos de regressão ajustado às variáveis físicas e químicas do efluente das águas residuárias do descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro obtido na recirculação da água, em circuito curto, como função do tempo e coeficientes de determinação .....	30
QUADRO 3 - Teste para comparação de médias, circuito longo, sem passagem do efluente pela peneira pressurizada, mas pelo tanque de decantação, de variáveis de qualidade de água amostrada antes do tanque (AT) e depois do tanque (DT) .....	35
QUADRO 4 - Teste para comparação de médias das variáveis obtidas de amostras coletadas antes da peneira pressurizada (AP) e depois da peneira (DP) .....	37
QUADRO 5 - Teste para comparação de médias, circuito longo, passagem do efluente pela peneira pressurizada e pelo tanque de decantação, coleta das amostras antes da peneira (AP) e depois da peneira (DP) e depois do tanque (DT) .....	39
QUADRO 6 - Teste para comparação de médias, circuito longo, passagem do efluente pela peneira pressurizada e pelo tanque de decantação, coleta das amostras antes da peneira (AP) e depois do tanque (DT) .....	41
QUADRO 7 - Eficiência na remoção, em percentagem, entre as concentrações afluentes e efluentes de sólidos e carga orgânica das águas residuárias do descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro .....	41

QUADRO A1 -	Dados obtidos a partir das análises das amostras, utilizando-se o circuito curto, sem a passagem do efluente pela peneira pressurizada de malha .....	51
QUADRO A2 -	Resultados das análises feitas nas amostras coletadas antes (A T) e depois do tanque de decantação (D T), no circuito longo, sem passagem pela peneira pressurizada de malha .....	52
QUADRO A3 -	Dados obtidos a partir das amostras coletadas antes da peneira pressurizada (AP) e depois da peneira pressurizada (DP), utilizando-se o circuito curto .....	53
QUADRO A4 -	Dados das amostras obtidas quando se utilizou o circuito longo com coletas antes da peneira pressurizada (AP), depois da peneira pressurizada e antes do tanque (DP) e depois do tanque de decantação (DT) .....	54



## RESUMO

RAGGI, Luiz Gustavo de Rezende, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2006. **Avaliação do desempenho de sistemas de tratamento de água em recirculação no descascamento e desmucilagem dos frutos do cafeeiro.** Orientador: Antonio Teixeira de Matos. Co-Orientadores: Haroldo Carlos Fernandes e Paulo Roberto Cecon.

Este trabalho foi realizado no Setor de Beneficiamento de Frutos do Cafeeiro da Fazenda Braúna, situada no Município de Araponga, MG. O objetivo foi analisar o desempenho de uma peneira pressurizada de malha na remoção de sólidos e de material orgânico, quando adicionada ao processo tradicional de processamento dos frutos do cafeeiro, por via úmida. O sistema de recirculação da água foi operado de duas formas: em circuito curto, em que o efluente das máquinas de processamento foi direcionado a uma caixa d'água de 1.000 litros, de onde, então, foi bombeada até a caixa d'água de 3.000 litros que alimentava o sistema, reiniciando-se o processo; ou em circuito longo, em que o efluente das máquinas de processamento foi direcionado a um tanque de decantação, com capacidade para 12.000 litros, de onde foi bombeado até a caixa de 3.000 litros, reiniciando-se o processo. A peneira de malha pressurizada, objeto de avaliação deste trabalho, foi instalada após as máquinas de processamento, visando-se o tratamento do efluente o qual foi direcionado, ora à caixa de 1.000 litros, ora ao tanque de decantação. Em ambos os casos, o efluente foi bombeado para a caixa d'água de 3.000 litros situada no início do processo para recirculação. Nas amostras coletadas foi medida a condutividade elétrica (CE) e o potencial hidrogeniônico (pH) e foram quantificadas as concentrações de sólidos

suspensos (SS), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

a) Quando o sistema foi operado em circuito curto, houve diferença estatística (em nível de 10%) na concentração afluente e efluente de ST, DBO e DQO na peneira pressurizada. No entanto, a peneira apresentou uma baixa eficiência de remoção de CE (8%), ST (15%), SS (15%), DBO (26%) e DQO (27%), não proporcionando qualidade de água suficiente para permanecer por uma jornada diária de 8 horas de trabalho; b) Quando o sistema foi operado em circuito longo, houve diferença estatística (em nível de 10%) na concentração afluente e efluente de SS, DBO e DQO na peneira pressurizada. Porém, a peneira apresentou baixa eficiência na remoção de CE (8%), ST (14%), SS (18%), DBO (12%) e DQO (23%). Assim, como foi observado no circuito curto, a peneira não apresentou efeitos significativos na qualidade da água em recirculação; c) O tanque de decantação foi mais eficiente na remoção de CE (88%), ST (75%), SS (77%), DBO (66%) e DQO (74%) da água em recirculação do que a peneira pressurizada de malha.

## ABSTRACT

RAGGI, Luiz Gustavo de Rezende, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2006. **Evaluation of the performance of systems in the treatment of water in recirculation for coffee bean hulling and mucilage removal.** Adviser: Antonio Teixeira de Matos. Co-Advisers: Haroldo Carlos Fernandes and Paulo Roberto Cecon.

This work was carried out at the Coffee Bean Processing Sector of the Brauna Farm located in the municipality of Araponga, MG, to analyze the performance of a pressurized mesh screen for removal of solids and organic material combined with the traditional coffee bean processing via the wet method. The recirculation of water was operated in two ways: under short circuit, with the effluent from the processing machine being delivered to a 1.000 liter water tower, and then pumped up to a 3.000 liter water tower that fed the system, reinitiating the process; or, under long circuit, with the effluent from the processing machine being delivered to a 12.000 liter decantation tank, from where it was pumped up to a 3.000 liter water tower reinitiating the process. The pressurized mesh screen evaluated was installed after the processing machines used to treat the effluent which was alternately delivered to the 1.000 liter water tower and to the decantation tank. In both cases, the effluent was pumped to the 3.000 liter water tower used at the start of the water recirculation process. Electric conductivity (EC) and hydrogenionic potential (pH) were measured and the concentration of total solids (TS), suspended solids (SS), oxygen biochemical demand (BOD) and oxygen chemical demand (COD) were quantified in the samples collected. Based on the results obtained, it could be concluded that: a) When the system was operated under short circuit, a statistical difference (at

a level of 10%) was observed in the affluent effluent concentration of TS, OBD and OCD in the pressurized screen. However, the screen showed low efficiency in removing EC (8%), TS (15%), SS (15%), BOD (26%) and COD (27%), with insufficient water quality being provided for a 8-hour working day shift; b) when the system was operated under long circuit a statistical difference ( at a level of 10%) was observed in the affluent effluent concentration of SS, BOD and COD in the pressurized screen .However, the screen showed low efficiency in the removal of EC (8%), TS (14%), SS (18%), BOD (12%) and COD (23%). Thus, as observed in the short circuit, the screen did not present significant effects on recirculating water quality; c) The decantation tank was more efficient in the removal of EC (88%), TS (75%), SS (77%), BOD (66%) and COD (74%) from the recirculating water than the pressurized mesh screen.

## **1 . INTRODUÇÃO**

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de grãos de café, sendo responsável por 30% do mercado internacional, o que corresponde a um volume equivalente ao da soma da produção obtida nos outros seis maiores países produtores. É, também, o segundo mercado consumidor, ficando atrás somente dos Estados Unidos. As áreas cafeeiras estão concentradas no centro-sul do país, onde se destacam os quatro maiores estados produtores: Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e Paraná. Na Região Nordeste, existem plantações de cafeeiros na Bahia e na Região Norte destacando-se o Estado de Rondônia como produtor emergente (ABIC, 2005).

Em Minas Gerais, as principais regiões produtoras são: Cerrado Mineiro, Sul de Minas, Matas de Minas e Jequitinhonha. A altitude média do Cerrado Mineiro é de 800 metros, condição que favorece o cultivo do café arábica, com predominância de plantas das variedades Mundo Novo e Catuaí. O Sul de Minas também produz, predominantemente, frutos de café arábica e a altitude média regional é, aproximadamente, de 950 metros. As variedades mais cultivadas do café arábica são a Catuaí e o Mundo Novo, mas também existem lavouras das variedades Icatu, Obatã e Catuaí Rubi. As regiões das Matas de Minas e de Jequitinhonha estão em altitude média de 650 metros e possuem lavouras de café arábica das variedades Catuaí (80%), Mundo Novo, dentre outras (ABIC, 2005).

A qualidade é o fator fundamental para valorização do grão de café e está associada, principalmente, à condução adequada dos procedimentos após a colheita. A adoção de tecnologia mais avançada no processamento do fruto do cafeeiro visa à obtenção de melhorias qualitativas e maior retorno econômico nas atividades de produção de grãos de café. Sabe-se que o processamento pós-colheita constitui-se de

operações unitárias que influenciam diretamente a qualidade e, por conseqüência, o valor econômico dos grãos de café (NOGUEIRA, 1996).

Segundo CABANELLAS (2004), a política tarifária praticada pelas companhias municipais e estaduais de saneamento e a implementação das estruturas de outorga e cobrança, tanto na tomada de água como no lançamento de águas residuárias nos corpos d'água, têm levado muitos produtores a recircular a água da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro, minimizando o uso deste recurso.

As águas residuárias do cafeeiro (ARC) resultantes da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos são ricas em material orgânico, nutrientes e sais minerais e, se dispostas de forma inadequada no ambiente, constituem-se de alto potencial poluente para o solo e lençol freático (MATOS et al., 1999). Segundo esses autores, o principal efeito desse tipo de poluição em corpos d'água é a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, utilizado por bactérias aeróbias em suas reações metabólicas de degradação do material orgânico lançado. Com a diminuição do oxigênio dissolvido na água, poderá haver morte de organismos aeróbios e danos à flora. Além disso, a disposição de água residuária rica em nutrientes pode causar a eutrofização dos corpos d'água, possibilitando o desenvolvimento excessivo de plantas aquáticas e algas, colocando em risco a qualidade das águas.

Segundo MATOS et al. (2001), geralmente são gastos, no descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro, de 3 a 5 litros de água para cada litro de fruto descascado. Com a recirculação da água, este volume pode chegar a menos de 1 litro de água para cada litro de fruto processado. Porém, com o processo de recirculação da água, ocorre aumento expressivo na concentração de material suspenso e em solução, podendo comprometer a qualidade final do produto.

Considerando a deterioração da água em recirculação, usada no processo de beneficiamento dos frutos do cafeeiro, torna-se necessário a implementação de sistemas que possam promover a sua depuração, ainda

que parcial, de forma a não prejudicar o desempenho das máquinas usadas no processamento e, principalmente, a qualidade dos grãos produzidos.

Outros estudos a respeito de tratamento da água residuária do descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro têm sido desenvolvidos e estão disponíveis na literatura, objetivando fornecer informações que possibilitem a diminuição do impacto negativo dos resíduos gerados por essa atividade ao meio ambiente, com o propósito de minimizar o gasto da água utilizada no processo. O uso de peneiras pressurizadas, de malha, pode ser uma boa opção para o tratamento de águas recirculadas para o processamento do fruto do cafeeiro. Entretanto, pouco se sabe sobre sua eficiência na remoção de contaminantes que possam vir a prejudicar a qualidade dos grãos processados, bem como sobre a viabilidade de seu uso.

O processo de peneiramento sempre foi muito utilizado com o intuito de separar produtos em diferentes granulações e formatos, bem como de retirar impurezas, adequando produtos às especificações exigidas. O peneiramento é um processo muito importante no tratamento de minérios e na separação de grãos de cereais, de uma forma geral. No entanto, são poucos os trabalhos relacionados à utilização desse processo de tratamento de água residuária, tão comum em todo o mundo (CARVALHO, 2005).

Com a realização do presente trabalho, teve-se como objetivo geral avaliar o desempenho de sistemas de tratamento de água em recirculação no descascamento e desmucilagem dos frutos do cafeeiro.

Especificamente, pretendeu-se:

- a) Avaliar o uso da peneira pressurizada de malha na remoção de sólidos e carga orgânica, presentes no efluente da água residuária, como elemento adicional no processo tradicional de processamento dos frutos do cafeeiro, por via úmida;

- b) Avaliar o uso de tanque de decantação no sistema de recirculação de água usada no processamento de frutos do cafeeiro, quando associado à peneira pressurizada de malha.



## **2 . REVISÃO DE LITERATURA**

O processamento do fruto do cafeeiro pode ser feito por “via seca” ou por “via úmida”. Por via seca os frutos são lavados e então separados os de maior e menor massa específica. Nesta condição os frutos, separadamente, são secados constituindo-se a categoria de café natural. Por via úmida, os frutos são lavados, separados, descascados/despulpados e, em alguns casos, desmucilados. No processamento via seca, são obtidos os cafés naturais, fundamentando-se na secagem dos frutos com casca, polpa, mucilagem, pergaminho e grão. O processamento por via úmida facilita e diminui os custos de secagem dos grãos, obtendo-se um produto com melhor qualidade para ser comercializado no exterior, um mercado exigente em qualidade de bebida (CABANELLAS, 2004).

O processamento por via úmida é recomendado para produção de grãos de café de melhor qualidade em regiões de clima úmido, pois a lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro reduzem a probabilidade de fermentação do grão e o tempo de secagem do mesmo. Porém, se mal conduzida, pode prejudicar a qualidade e sua aceitação no mercado exterior. Essa forma de processamento dá origem aos grãos de café lavados/descascados ou despulpados ou lavados/descascados/desmucilados (CABANELLAS, 2004).

O descascamento/despulpamento do fruto do cafeeiro consiste na retirada da casca do fruto maduro, por meio mecânico, seguido ou não da remoção da mucilagem na 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-lhes características únicas como: padrão e uniformidade, características de corpo, acidez e doçura de café descascado. O processamento do café por via úmida apresenta, ainda, algumas vantagens como a diminuição da

área de terreiro, devido a diminuição do volume, e do tempo necessário para a secagem. Com a utilização desses processos, o volume ocupado pelos grãos é até 40% menor nos secadores, silos e tulhas (BARTHOLLO et al., 1989). Entretanto, com a aplicação das técnicas de processamento pós-colheita por via úmida, os produtores de café têm deparado com o problema da geração de águas residuárias no processo.

DELGADO e BAROIS (1999) citam que, no processamento por via úmida tradicional, são geradas, aproximadamente, três toneladas de subprodutos e são requeridas quatro toneladas de água para produzir uma tonelada de grãos processados.

Estima-se que 39% do peso do fruto do cafeeiro seja devido à casca, resíduo sólido a ser separado em peneiras ou grades e que exige destinação especial, por ser altamente poluente para o meio ambiente (MATOS, 2003).

Segundo VASCO (1999), a distribuição dos macrocomponentes dos frutos do 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 são aproveitados na preparação da bebida. Os 94% restantes, constituídos por água e subproduto do processo, na maioria dos casos não recuperados, podem ser fonte de contaminação do meio ambiente.

MATOS (2003) encontrou nas águas residuárias da lavagem e descascamento/despolpa do fruto do café tipo arábica, em condições de recirculação, valores de 10.500 a 14.340 mg L<sup>-1</sup> de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), de 18.600 a 29.500 mg L<sup>-1</sup> de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e valores de 14.000 a 18.200 mg L<sup>-1</sup> de sólidos totais. Segundo o mesmo autor, os elevados valores de DBO e DQO indicam que estas águas residuárias são possuidoras de grande carga orgânica e elevada concentração de sólidos totais, dos quais a maior parte é volátil (STV), podendo ser removida por tratamento biológico. No que se refere ao valor, como fertilizante para culturas agrícolas, pode-se verificar que

essas águas apresentam concentrações relativamente elevadas de nitrogênio e, principalmente, de potássio. Se lançadas em curso d'água sem tratamento prévio, podem resultar em enriquecimento dessas águas, proporcionando o desenvolvimento de plantas aquáticas que podem vir a prejudicar a manutenção de outras formas de vida aquática. Ainda segundo esse autor, o valor dessas águas, como fertilizante, é forte indicativo para utilização de sistemas solo-planta como forma de possibilitar a disposição ou tratamento dessas águas residuárias.

Para possibilitar a preservação da qualidade do produto e utilização da água por mais tempo no descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro, torna-se necessário um tratamento prévio da água em recirculação no processo de descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro, uma vez que as 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 (CABANELLAS, 2004).

No tratamento de águas residuárias são utilizados usualmente quatro níveis de tratamento: preliminar, primário, secundário e terciário (VON SPERLING, 1996). Nos dois primeiros visa-se, primordialmente, à remoção de sólidos, enquanto, nos subseqüentes, remove-se material orgânico em suspensão, parte dos sólidos dissolvidos e patógenos.

No tratamento preliminar, tem-se como objetivo a remoção de sólidos grosseiros. Segundo CABANELLAS (2004), a remoção de sólidos grosseiros é normalmente feita por grades ou peneiras. Nesta etapa do tratamento, ficam retidos os materiais de dimensões maiores do que as dimensões utilizadas nas barras ou malhas. Segundo MATOS et al. (2001), a grade ou peneira a ser inserida no canal de condução da água proveniente do pré-processamento dos frutos do cafeeiro deve ter a

malha de, no máximo, 5 mm, devendo ser instalada numa inclinação de 45° com a horizontal.

No tratamento primário, visa-se à remoção de sólidos sedimentáveis e parte de matéria orgânica (VON SPERLING, 1996), ocorrendo por processos predominantemente físicos de separação sólido/líquido.

## **2.1 - Separação sólido/líquido em águas residuárias**

Os processos de separação sólido/líquido incluem sedimentação, peneiramento, centrifugação e filtração (HUIJSMANS e LINDLEY, 1984). Segundo VON SPERLING (1996), a sedimentação é um processo físico de separação de partículas sólidas com massa específica superior à do líquido circulante. Em tanque em que a velocidade da água é baixa, as partículas tendem a ir para o fundo, formando assim uma camada de lodo e tornando o líquido sobrenadante clarificado. Outras formas de separação sólido/líquido são o peneiramento e filtração.

### **2.1.1 - Peneiramento**

As peneiras caracterizam-se por disporem de aberturas pequenas, de 0,25 a 5,00 mm, sendo usadas para remoção de sólidos muito finos ou fibrosos. Até as décadas de 1970 e 1980, essas unidades eram usadas praticamente apenas no tratamento de dejetos industriais, na indústria agro-alimentar, têxtil, de celulose e papel, de curtumes e química que, por apresentarem pequena capacidade e por exigirem elevado nível de mecanização, tornavam-se inadequadas, técnica e economicamente, em instalações de esgoto doméstico (JORDÃO e PESSÔA, 1995). Segundo os autores, a evolução para modelos de auto-limpeza e grau de mecanização simplificado estabeleceu ampla aplicabilidade dessas unidades, pois reduziram o custo e a área necessária para as unidades de tratamento subsequentes.

As peneiras podem ser constituídas por chapas metálicas, malhas de arame ou nylon. As chapas metálicas possuem orifícios, que podem ser redondos, oblongos, retangulares ou triangulares. As peneiras de malha são formadas por tramas de arame ou de nylon, geralmente com aberturas de formato quadrado ou retangular, podendo ser classificadas em estáticas, vibratórias e rotativas (CARVALHO, 2001).

As peneiras estáticas são as mais simples, apresentando menor eficiência em relação às demais. Segundo MERKEL (1981), o maior problema encontrado no uso de peneiras estáticas é a formação de uma fina camada de sólidos na superfície da peneira, o que requer sua limpeza periódica. A principal vantagem está no fato de não requererem energia, apresentando baixo custo de operação e manutenção (JORDÃO e PESSÔA, 1995).

As peneiras vibratórias realizam movimentos oscilatórios tangencial e vertical, com remoção contínua dos resíduos. A vantagem da peneira vibratória é a de apresentar baixa tendência ao entupimento, comportando crivos de diâmetro menor do que a estática e, com isso, reter maior quantidade de partículas finas (GILBERTSON e NIENABER, 1978).

As peneiras rotativas são fabricadas em diversos modelos, podendo ser classificadas, dependendo da direção do fluxo afluyente, em: de fluxo tangencial e de fluxo axial (MERKEL, 1981). A vantagem das peneiras rotativas é a sua operação de forma contínua, com pequena ou nenhuma obstrução dos crivos e com capacidade de remover partículas grosseiras e finas (VERLEY e MINER, 1974).

Segundo JORDÃO e PESSÔA (1995), as peneiras de fluxo tangencial surgiram em 1973, quando foram amplamente usadas em diversas instalações industriais. A simplicidade de operação e manutenção, aliada à grande capacidade de processamento do efluente líquido justificaram sua utilização no Brasil. Avaliando peneiras de fluxo tangencial com espaçamento de 1,5 mm entre barras, em instalações de condicionamento prévio de esgotos para lançamento subaquático, em Santos – SP, os

autores obtiveram remoções médias de 7,0% na Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), 6,0% na Demanda Química de Oxigênio (DQO), 3,0% na concentração de Sólidos em Suspensão (SS), 6,0% de sólidos sedimentáveis (SP) e de 70,0% de material flutuante.

As peneiras de fluxo axial, com concepção idêntica às de fluxo tangencial, diferem-se destas apenas em relação à forma de admissão do líquido e à remoção do material retido (JORDÃO e PESSÔA, 1995). Segundo esses autores, encontram-se publicadas em Hult Valley, Nova Zelândia, informações sobre eficiência desse modelo de peneira, quando instalado para executar pré-condicionamento de esgoto doméstico para disposição oceânica. São citados valores de remoção média de 9,9% de resíduos não filtráveis, 23,4% de SP e 93,2% de material flutuante, para um espaçamento entre barras de 1,0 mm. E, para um espaçamento entre barras de 0,5 mm, valores de remoção média de 16,7% de resíduos não filtráveis, 56,7% de SP e de 96,4% de material flutuante.

Segundo IMHOFF (1986), a capacidade de remoção de sólidos por peneiras é menor do que a obtida em decantadores. Em trabalho realizado com o peneiramento de água residuária de criatório de animais, alguns autores obtiveram eficiência de 24% na remoção de sólidos totais. BELLI FILHO e CASTILHO (1990), trabalhando com dejetos de suíno, avaliando peneiras com malhas de 800 e 500  $\mu\text{m}$ , obtiveram eficiências de remoção de sólidos totais da ordem de 40 e 49%, respectivamente.

Segundo CARVALHO (2001), as máquinas utilizadas no Brasil, destinadas à separação de sólidos, ainda dispõem de tecnologia inadequada ou rudimentar, fato este que incrementa o baixo rendimento médio observado, em termos de produtividade. Segundo o mesmo autor, a ausência de tecnologia aplicada na separação sólido-líquido do efluente da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro deve-se ao fato dessa forma de processamento ser recente e das exigências legais para o tratamento de água residuária serem relativamente novas. Além disso, citou que os países desenvolvidos detentores das mais avançadas

tecnologias, não têm as lavouras comerciais de cafeeiro, não havendo, assim, interesse por parte desses países, no desenvolvimento de maquinaria destinada a esse tipo de processamento.

### **2.1.2 - Filtração**

A filtração é um processo físico de retenção de partículas, cuja eficiência está diretamente relacionada ao diâmetro efetivo e à uniformidade do material filtrante utilizado (METCALF e EDDY, 1991).

A filtração é realizada quando a água residuária passa por uma camada de filtro composta de material granular, com ou sem a adição de substâncias químicas coagulantes. Na camada filtrante, a remoção dos sólidos suspensos contidos na água residuária é realizada por um processo complexo, envolvendo um ou mais mecanismos de remoção, como tensão superficial, interceptação, impactação, sedimentação e adsorção (METCALF e EDDY, 1991).

De acordo com POVINELLI e MARTINS (1973), a ação mecânica de eliminação dos sólidos em suspensão por filtração está baseada no princípio de que um meio poroso pode reter impurezas de dimensões menores do que as dos poros da camada filtrante. No entanto, esses mecanismos de remoção são temporários ou finitos, tendo em vista a obstrução gradativa dos poros do leito filtrante, com o conseqüente aumento na perda de carga no filtro. O fim da operação do filtro é alcançado quando os sólidos suspensos provocam interrupção completa do fluxo do líquido em tratamento.

A base do conhecimento de que se dispõe atualmente sobre os princípios da filtração foi desenvolvida a partir do uso da areia como material filtrante. James Peacock, citado pela EMARP (2004), demonstrou, em 1971, que a água podia ser filtrada deixando-a infiltrar-se num leito de areia.

Em 1829, o método de tratamento da água pelo processo de filtração foi apresentado pela primeira vez em Londres, quando o inglês James Simpson apresentou um filtro de areia para ser usado na redução da turbidez da água, alcançando tal sucesso que se tornou de uso generalizado e, até mesmo, obrigatório naquela cidade em 1855. O processo consistia em fazer a água atravessar lentamente uma camada de areia, disposta sobre uma camada de cascalho (MAGALHÃES, 2005).

O filtro de areia passou, então, a ser constituído de várias camadas de partículas de tamanhos ou texturas diferentes. As camadas de areia sobrepõem-se a uma camada de cascalho mantida por uma tela de arame, que serve de suporte para a coluna filtrante. Após aplicar sobre o filtro água impura ou barrenta, as impurezas ficam retidas nos poros dos materiais componentes do filtro. O processo descrito passou a ser denominado de filtração (MAGALHÃES, 2005).

Desde então, o uso da areia, como material filtrante, passou a ser difundido no mundo inteiro como um processo de tratamento no qual se faz passar água por um meio poroso capaz de reter alguns tipos de impurezas. De acordo com SANTOS et al. (2004), a filtração consiste na passagem de um afluente líquido através de um meio filtrante granular, onde, por intermédio de mecanismos de transporte e adesão, as partículas presentes podem ficar retidas. Contudo, é controverso o uso desse dispositivo como a última barreira sanitária capaz de reter eventuais partículas, até mesmo microrganismos presentes na água. Há argumentos contrários à sua utilização, como tratamento único, em virtude da baixa eficiência e irregularidade na remoção da turbidez e de patógenos, da formação de uma película biológica em torno do elemento filtrante, na qual pode ocorrer o desenvolvimento de patógenos oportunistas, pelo fato de não ser hábito a filtração domiciliar da água, em países desenvolvidos.

A filtração é, geralmente, considerada como última etapa do processo de tratamento da água antes da sua desinfecção, podendo também ser aplicada no pós-tratamento de esgoto sanitário. Segundo



KAMINSKI et al. (1997), partículas menores que 1 mm são transportadas por difusão até a superfície dos grãos do meio filtrante, enquanto as demais são transportadas pela ação da gravidade. Não obstante, a real compreensão do comportamento das partículas dentro dos filtros continua ainda incompleta, dada à complexidade do processo (LAWLER, 1997).

SANTOS et al. (2004) afirmaram que, em estações de tratamento de água e de esgoto, os atributos comumente usados no monitoramento de sistemas de filtração são: a perda de carga nos filtros, o tempo de duração da filtração, a concentração de sólidos suspensos totais (SST) e a turbidez do efluente. Contudo, de acordo com KOBLER e BOLLER (1997), tanto a concentração de SST como a turbidez são medidas que contemplam, principalmente, partículas maiores do que 10  $\mu\text{m}$ , sendo, essas, as que mais contribuem para a massa e o volume total de sólidos presentes em efluentes.

Segundo KAMINSKI et al. (1997), KOBLER e BOLLER (1997) e HALL e CROLL (1997), a maioria dos sistemas de filtração não apresenta remoções satisfatórias de partículas menores do que 10  $\mu\text{m}$ , de modo que seus efluentes podem conter grande quantidade de bactérias e protozoários, mesmo apresentando baixas turbidez e concentração de SST. Sendo assim, a utilização da distribuição de tamanho de partículas na avaliação do desempenho de filtros, poderia servir como indicador de risco sanitário.

HALL e CROLL (1997) avaliaram o desempenho de alguns filtros rápidos na Inglaterra, usando a turbidez e a contagem de partículas como atributos de controle sanitário e oocisto de *Cryptosporidium* como microrganismo indicador, utilizado por apresentar tamanho entre 4 e 6  $\mu\text{m}$  e serem resistentes à desinfecção. Os autores não observaram qualquer correlação entre turbidez e contagem de partículas, porquanto efluentes com pequena variação de turbidez (0,1 a 0,2 uT) apresentaram grande variabilidade no número de partículas entre 2  $\mu\text{m}$  e 5  $\mu\text{m}$  (20 a 6000 partículas por mL).

Segundo MAGALHÃES (2005), o filtro de areia tem um funcionamento semelhante ao dos filtros lentos das estações de tratamento de água. De forma similar, a limpeza deste tipo de filtro deve ser realizada por meio de raspagem da camada superficial da areia, quando o filtro começar a perder sua capacidade de filtração, ou seja, quando começar a "entupir". Após a limpeza, o leito filtrante deve ter sua espessura original reconstituída, ou seja, a camada de areia deve ser completada novamente.

Com base no conhecimento já acumulado sobre os princípios de filtração, já se utiliza hoje, além da areia, vários tipos de materiais filtrantes. A exemplo de membranas filtrantes, usa-se também carvão ativado, cartuchos em celulose aglomerada por resina melamínica, sendo, este último, utilizado como filtro polidor que tem o objetivo de separar, da água, as partículas que não puderam ser retidas nos filtros de areia e carvão (MAGALHÃES, 2005).

Nas tecnologias de filtração em membranas, a vazão afluenta é separada em dois fluxos distintos, denominados permeado e concentrado. Permeado é a parcela que passa através da membrana, enquanto o concentrado é a parcela que fica enriquecida com solutos ou sólidos suspensos retidos pela membrana. Segundo SCHNEIDER e TSUTIYA (2001), nestes processos, a água é forçada a atravessar uma membrana semipermeável pela aplicação de uma força motriz que pode ser, por exemplo, decorrente de uma diferença de pressão. As tecnologias de membranas filtrantes são aplicadas tanto no pós-tratamento de esgoto sanitário como no tratamento de água para abastecimento.

De acordo com MAGALHÃES (2005) filtros de areia têm sido, de modo geral, utilizados em sistemas de tratamento de água com finalidade básica de remover qualquer arraste de partículas em suspensão ou ainda flocos, provenientes do reator. Comumente, filtro de areia consta de um leito filtrante de granulometria crescente no sentido descendente, e de um distribuidor superior e de outro inferior, que objetivam um fluxo uniforme

de água em toda a área de filtração. O leito filtrante é geralmente areia ou antracito e o sub-leito, de granulometria maior, é constituído por cascalho. Um meio filtrante ideal deve ser constituído de partículas de diâmetro e de um tipo de material que venham proporcionar um efluente em condição satisfatória, retendo um máximo de quantidade de sólidos.

Materiais filtrantes mais finos deverão proporcionar a produção de um efluente mais depurado. Entretanto produzirão, também, maior perda de carga nas camadas superiores da coluna filtrante, proporcionando, assim, pequeno período de operação do filtro. Materiais filtrantes mais grosseiros vão permitir uma penetração de sedimentos mais profunda, assim como um maior volume poroso para a remoção e o armazenamento de partículas suspensas, maiores períodos de operação do filtro e limpeza mais fácil por reversão do fluxo (MAGALHÃES, 2005).

MAGALHÃES (2002), avaliando a capacidade de remoção de sólidos em suspensão e sólidos totais da água residuária da suinocultura dos filtros de serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar, encontrou taxas de remoção de 90 a 99% de sólido 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.

De acordo com Bispo e Bebrman, citados por METCALF e EDDY (1991), a filtração deve ser baseada na compreensão das variáveis que controlam o processo e no conhecimento pertinente do mecanismo ou mecanismos responsáveis pela remoção de particulado de águas residuárias.

Pela teoria da filtração, a área exposta do meio filtrante deve ser o critério de dimensionamento. Entretanto, como essa área é função do tamanho da partícula e da profundidade da coluna, o aumento no diâmetro das partículas do meio filtrante vai requerer, por compensação, aumento na profundidade da coluna.

De acordo com METCALF e EDDY (1991), as variáveis mais importantes a serem consideradas no projeto de filtros para a remoção de

resíduos sólidos suspensos são: a natureza do efluente a ser filtrado; o tamanho das partículas (granulometria) do material filtrante e a taxa de filtração.

Filtros com pequena taxa de filtração proporcionam maior eficiência na depuração de águas residuárias, contudo resultam em menor volume filtrado. Por outro lado, taxas de filtração altas resultam numa capacidade maior de filtragem do sistema com relação ao volume, porém, com menor eficiência na remoção de poluentes.

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 um período mais prolongado de operação do que os contínuos, devem, também, ter seu material filtrante substituído.

### **2.1.3 – Sedimentação**

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). Dependendo da natureza dos sólidos presentes na suspensão, podem ser considerados quatro tipos de mecanismos ou processos de sedimentação: a sedimentação discreta, sedimentação com floculação, sedimentação por zonas e a sedimentação por compressão.

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).

Na sedimentação floculenta, as partículas aglomeram-se, formando flocos, que tendem a crescer de tamanho à medida que sedimentam (von SPERLING, 1996). A aglomeração das partículas vem acompanhada de mudanças de massa específica e na velocidade de sedimentação ou precipitação. 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 é a formação de flocos, assim sendo, a sedimentação floculenta tem a sua eficiência aumentada com o aumento da profundidade e do tempo de detenção. Para favorecer a floculação dos sólidos em suspensão, baixa-se a velocidade da água no tanque, de forma a facilitar o crescimento dos flocos, tomando-os, com isso, mais pesados. Na saída do flocculador, tem-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). A sedimentação que ocorre nos clarificadores ou sedimentadores primários é um exemplo deste processo.

Na sedimentação por zonas as partículas formam uma espécie de manta que é sedimentada como massa coesa, apresentando 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).

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 por gravidade no fundo de decantadores secundários e adensadores (METCALF e EDDY, 1991).

### **3 . MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado no Setor de Processamento de Frutos do Cafeeiro da Fazenda Braúna, situada no Município de Araponga, MG, no período de 4 a 10 de agosto de 2005. A propriedade possui uma área de 300 ha, cultivada com cafeeiros das variedades Catucaí e Catuaí, onde estão plantados 700.000 pés de cafeeiro, com produção média anual de cerca de 4.500 sacas de café cereja.

#### **3.1 – Descrição do sistema convencional de processamento via úmida dos frutos do cafeeiro instalado na Fazenda Braúna**

No sistema convencional usado para o processamento dos frutos do cafeeiro da Fazenda Braúna realizam-se a lavagem e separação, descascamento/despolpa e desmucilagem dos frutos, sendo constituído dos seguintes elementos básicos:

- a) Uma caixa d'água de fibra de vidro, com capacidade para 3000 litros, que alimenta o sistema de beneficiamento (Figura 1);
- b) Uma moega receptora dos frutos a serem processados, contendo, ao fundo, uma grade metálica com dimensões de 6,5m x 1,3m e malha quadrada com orifícios de 10cm X 10cm (Figura 2);
- c) Um conjunto de máquinas processadoras contendo: um lavador/separador (Figura 3), onde é feita a separação dos frutos tipo bóia dos tipos cereja e verde, dois descascadores e dois desmuciladores, sendo um para o fruto tipo cereja e outro para o fruto tipo bóia (Figura 4);
- d) Um tanque de decantação com capacidade para 12.000 litros, localizado no final do sistema de pré-processamento e processamento (Figura 5).



Figura 1 – Caixa d'água de abastecimento



Figura 2 – Vista da grade metálica da moega receptora



Figura 3 – Detalhe do lavador mecânico



Figura 4 – Detalhe das máquinas de descascamento e desmucilagem



Figura 5 – Vista frontal do tanque de decantação

Nesse sistema convencional (Figura 6), os frutos colhidos na lavoura são colocados na moega receptora, ficando retidas na grade metálica as impurezas de dimensões maiores que as do fruto, como folhas, galhos e pedras na grade metálica. Os frutos e impurezas que passam pela grade são direcionados, por gravidade, ao conjunto de máquinas que utiliza a água recirculada da caixa de 3000 litros.

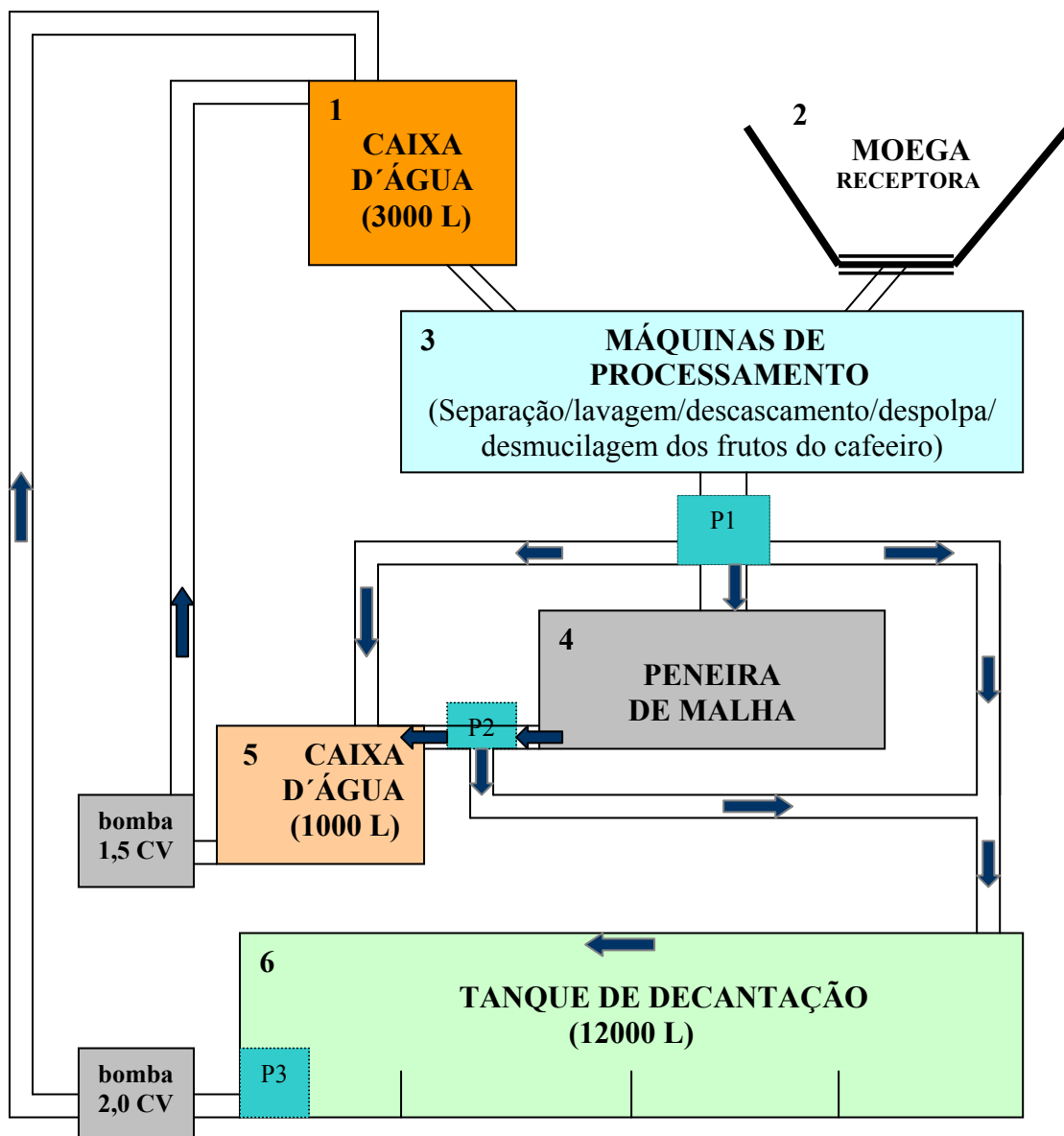
Os frutos, ao passarem pelo lavador/separador, são lavados e separados os cafés bóias dos cafés cerejas e verdes. Os frutos cerejas e verdes são conduzidos para o descascador onde os frutos verdes são separados dos frutos cerejas os quais são descascados e conduzidos aos desmuciladores para a retirada da mucilagem.

A água residuária do processo é escoada por gravidade para o tanque de decantação de onde é bombeada para a caixa de 3000 litros, usando-se uma bomba de 1,472 KW (2 CV), iniciando-se o processo de recirculação, conforme ilustrado no esquema apresentado na Figura 6. O tanque de decantação possibilita um tempo de detenção hidráulica de 12 minutos.

### **3.2 – Introdução da peneira pressurizada de malha no sistema convencional**

O sistema alternativo de processamento caracteriza-se pela inclusão ao sistema instalado, de uma peneira pressurizada de malha logo após o conjunto de máquinas de lavagem e separação, descascamento/despolpa e desmucilagem, para receber o efluente do processo. Esse efluente, depois de processado na peneira vai para uma caixa d'água de fibra de vidro de 1000 litros, de onde é bombeado, utilizando-se uma bomba de 1,104 KW (1,5 CV), (pede-se vazão e pressão) para a caixa d'água de 3000 litros, instalada no início do sistema, para recirculação (Figura 6).





1 – Caixa água de 3.000 litros;  
 2 – Moega receptora dos frutos do cafeeiro;  
 3 – Conjunto de máquinas processadoras;  
 4 – Peneira de malha sob pressão;  
 5 – Caixa água de 1.000 litros;  
 6 – Caixa de decantação de 12.000 litros;  
 P1, P2 e P3 – pontos de coleta das amostras.

Circuitos possíveis:

- 1) curto sem peneira: 1, 3, 5, 1;
- 2) curto com peneira: 1, 3, 4, 5, 1;
- 3) longo sem peneira: 1, 3, 6, 1;
- 4) longo com peneira: 1, 3, 4, 6, 1.

Figura 6 – Esquema do sistema de beneficiamento de frutos do cafeeiro utilizado na avaliação da peneira pressurizada de malha.

O motor da peneira pressurizada de malha (Figura 7), tem 2,208 KW (3,0 CV) de potência, sendo ligado a uma rede com tensão de 380 volts. Na peneira foram utilizadas três peneiras de 30 cm de largura em seqüência, sendo a malha da primeira de 120 µm e as malha da segunda e da terceira de 100 µm de diâmetro de furo.

O equipamento recebe todos os resíduos do processo por gravidade, os quais, posteriormente, são transportados por um conjunto helicoidal que sucessivamente os empurram para dentro do elemento filtrante. A separação é feita por meio do rotor horizontal, dotado de hastes que comprimem a água residuária contra as malhas e por arrastadores que raspam os resíduos, conduzindo-os até a saída da máquina.



Figura 7 – Vista da peneira pressurizada avaliada

### **3.3 – Operação do sistema de recirculação da água no processamento dos frutos do cafeeiro**

O sistema instalado para a recirculação da água no processamento dos frutos do cafeeiro pode ser operado de duas formas:

- Pelo circuito curto – neste caso, o efluente das máquinas de processamento é direcionado à caixa d'água de 1000 litros, de onde é bombeada até a caixa d'água de 3000 litros, utilizando-se uma bomba de 1,104 KW (1,5 CV), reiniciando-se o processo.
- Pelo circuito longo – neste caso, o efluente das máquinas de processamento é direcionado ao tanque de decantação, de onde é bombeado até a caixa de 3000 L, utilizando-se uma bomba de 1,472 KW (2,0 CV), reiniciando-se o processo.

A peneira pressurizada de malha, objeto de avaliação neste trabalho, foi instalada visando-se o tratamento da água proveniente das máquinas de processamento. O efluente dessas máquinas foi direcionado, ora à caixa de 1000 litros, ora ao tanque de decantação, de onde, em ambos os casos, foi bombeado para caixa d'água de 3000 litros, no início do processo (Figura 6).

Visando-se à obtenção de dados que possibilitassem a avaliação do sistema sem a inclusão da peneira pressurizada de malha, o sistema foi também operado com a recirculação da água na forma convencional, utilizando-se apenas o tanque de decantação localizado ao final do sistema de beneficiamento.

Foram utilizados os seguintes circuitos para a recirculação da água usada no processamento dos frutos do cafeeiro, conforme descrito na Figura 6:

- a) Circuito curto com passagem da água residuária pela peneira pressurizada de malha;
- b) Circuito curto sem a passagem da água residuária pela peneira pressurizada de malha;
- c) Circuito longo com passagem da água pela peneira pressurizada de malha e pelo tanque de decantação;

d) Circuito longo sem passagem da água pela peneira pressurizada de malha, mas com passagem pelo tanque de decantação.

### **3.4 – Amostragem da água em recirculação e avaliação do desempenho da peneira pressurizada de malha**

Amostras da água em recirculação, utilizadas no processamento dos frutos do cafeeiro, foram coletadas em diferentes posições do circuito hidráulico, ao longo de uma jornada diária de processamento.

No sistema com circuito longo de recirculação (item c), que incluiu a peneira pressurizada de malha, foram coletadas amostras antes e depois do peneiramento, nas posições P1, P2 e P3, conforme identificadas na Figura 6. No sistema com circuito longo (item d), no qual a peneira pressurizada não foi utilizada, foram coletadas amostras nas posições P1 e P3.

No sistema com circuito curto de recirculação (item a), foram coletadas amostras antes e depois da passagem da água pela peneira, ou sejam, nas posições P1 e P2. No sistema em que a peneira não foi utilizada (item b), foram coletadas amostras na posição P2, antes do bombeamento da água para a recirculação. Neste caso, o objetivo foi verificar dados relativos à incorporação de sólidos e a carga orgânica na água utilizada durante o processo de recirculação. Cada amostra de água tinha volume de 500 mL, tendo sido coletada em intervalos de 40 min, a partir do início do processo.

Foram realizadas análises físicas e químicas nas amostras coletadas. As análises físicas incluíram a quantificação da concentração de sólidos totais (ST) e sólidos suspensos (SS) e a medição da condutividade elétrica (CE); as análises químicas incluíram a quantificação da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO<sub>5</sub> e da Demanda Química de Oxigênio – DQO e medição do potencial hidrogeniônico (pH). As amostras de águas residuárias foram analisadas de acordo com o especificado no Standard

Methods for the Examination... (APHA, 1998). Todas as análises nas amostras foram feitas no Laboratório de Qualidade da Água, do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, e realizadas dentro do prazo máximo de 24 horas, à exceção das análises de demanda química de oxigênio (DQO), que foram realizadas em, no máximo, três dias, a contar da data de coleta.

A concentração de sólidos em suspensão (SS) foi obtida filtrando-se a amostra em funil Kitassato acoplado a uma mangueira plástica conectada a uma 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, 1998). Terminada a filtração de toda a alíquota, o filtro foi seco em estufa, a  $107,5 \pm 2,5^\circ\text{C}$ , por duas horas e pesado em balança de precisão, sendo a concentração de sólidos em suspensão determinada utilizando-se a seguinte equação:

$$SS = (M_{FD} - M_{FA}) \times 1000 / V_{am} \quad (1)$$

em que,

SS – Sólidos em suspensão,  $\text{mg L}^{-1}$ ;

$M_{FD}$  – massa do conjunto funil/filtro após a filtragem (estufa 103 –  $105^\circ\text{C}$ ), mg;

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

$V_{am}$  – volume da amostra, mL.

Para a quantificação dos sólidos totais (ST), foram colocadas cápsulas na mufla, sob temperatura de  $550^\circ\text{C}$ , por um período de 1 hora. Terminado este período, as cápsulas foram transferidas para o dessecador até atingirem a temperatura ambiente quando, então, tiveram suas massas determinadas. Foram colocados cerca de 100 mL de amostra da

água residuária na cápsula. Este foi o volume de amostra necessário para produção de 10 a 200 mg de resíduo.

Para quantificação dos sólidos totais (ST), as amostras tiveram o excesso de água eliminado em banho-maria, até ser atingida a desidratação visual. Este procedimento teve duração de aproximadamente 90 min. Após a desidratação, o resíduo foi colocado em estufa a 103-105°C, por 2h, para secagem. Decorrido este período, a amostra foi transferida para o dessecador, permanecendo neste recipiente até ser atingida a temperatura ambiente quando, então, quantificou-se sua massa.

O cálculo da concentração de sólidos totais foi realizado utilizando-se a Equação (2):

$$ST = (M_S - M_R) \cdot 1000 / V_{am} , \quad (2)$$

em que,

ST = sólidos totais, mg L<sup>-1</sup>;

M<sub>S</sub> = massa da amostra seca a 103-105°C mais a massa do recipiente (cápsula), mg;

M<sub>R</sub> = massa do recipiente (cápsula), mg; e

V<sub>am</sub> = volume da amostra, mL.

Para a avaliação da eficiência de sistemas de tratamento de águas residuárias, foi utilizado a variável Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (VON SPERLING, 1996), de forma a se poder comparar com o que está estabelecido na legislação ambiental. 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<sub>5</sub>, 20°C) seja de 60 mg L<sup>-1</sup> ou que a eficiência do sistema de tratamento para a remoção da DBO seja superior a 85% (CAMPOS et al., 1998), desde que não seja

suplantado algum padrão de qualidade da classe em que o curso d'água esteja enquadrado.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) foi obtida pela determinação do oxigênio dissolvido pelo método iodométrico, e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) pelo método do refluxo aberto (APHA, 1995). A medição da condutividade elétrica (CE) foi realizada utilizando-se o condutivímetro e, finalmente, o pH das amostras de águas residuárias foi medido utilizando-se o método eletrométrico.

### **3.5 – Eficiência na separação sólido/líquido**

A eficiência de peneiramento ou separação sólido/líquido do efluente do sistema de lavagem e descascamento/despolpa de frutos do cafeeiro foi obtida pela fórmula (3) que expressa a razão entre a diferença de concentração de sólidos totais existente no afluente e efluente, pela concentração de sólidos totais no afluente na água residuária.

$$E_p (\%) = 100 (1 - C_e / C_a), \quad (3)$$

em que,

$E_p$  = eficiência de peneiramento, %;

$C_e$  = concentração efluente, g L<sup>-1</sup>; e

$C_a$  = concentração afluente, g L<sup>-1</sup>.

A capacidade de peneiramento foi obtida dividindo-se o volume de frutos processados pelo tempo de funcionamento da máquina e calculada utilizando-se a equação:

$$C_p = V/t, \quad (4)$$

em que,

$C_p$  = capacidade de peneiramento,  $m^3 h^{-1}$ ;

$V$  = volume de frutos do cafeeiro processado,  $m^3$ ; e

$t$  = tempo de peneiramento, h.

### **3.6 – Análise estatística dos dados**

Para avaliar a influência da peneira pressurizada no sistema de beneficiamento dos frutos do cafeeiro, foi realizada a análise estatística dos dados coletados antes e depois da passagem da água residuária pela peneira, nas posições apresentadas no item 3.1 e mostradas na Figura 6. Os dados foram analisados, utilizando-se o teste "t" de Student, para dados pareados, em nível de 10% de probabilidade. Análise semelhante também foi feita para a avaliação da influência do tanque de decantação em sistema de tratamento da água para recirculação, sem o uso da peneira pressurizada.

Para as variáveis CE, pH, ST, SS, DBO e DQO, os dados foram analisados por meio de análise de regressão. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, pelo teste t, no coeficiente de determinação e no fenômeno biológico.



#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O volume de água utilizada e o volume de frutos processados, individualizado por tipo de fruto e circuito usados no processamento, no sistema para a coleta de amostras da água residuária, conforme ilustrado na Figura 6, estão apresentados no Quadro 1. Foram considerados os seguintes casos: circuito curto com uso da peneira pressurizada, CC-Cp; circuito curto sem uso da peneira, CC-Sp; circuito longo com uso da peneira pressurizada e do tanque de decantação, CL-Cp; e circuito longo sem uso da peneira e com uso do tanque, CL-Sp.

A capacidade de peneiramento foi de  $3,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , quando o sistema foi operado em circuito curto e de  $3,08 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , quando o sistema operou em circuito longo

**QUADRO 1** – Volume de água e de frutos do cafeeiro usados na operação do sistema para a coleta de amostras do efluente das águas residuárias

Circuito	Volume de água (L)	Volume de frutos (L)			
		Processados	Cereja	Verde	Bóia
<b>CC-Cp</b>	5000	10020	1680	1440	6900
<b>CC-Sp</b>	5000	8520	1680	1140	5700
<b>CL-Cp</b>	15000	10260	1020	1620	7620
<b>CL-Sp</b>	15000	11460	1080	3180	7200

CC – Cp: Circuito curto com peneira; CC – Sp: Circuito curto sem peneira; CL – Cp: Circuito longo com peneira; CL – Sp: circuito longo sem peneira

Avaliando-se a distribuição dos frutos, por tipo, verificou-se que cerca de 68% do total era constituído por frutos bóias, cerca de 11,5% de cerejas e de 20,5% de verdes. No circuito curto (CC-Cp e CC-Sp) a relação entre o volume de água gasto e o volume de frutos processados foi de 0,55 e no circuito longo (CL-Cp e CL-Sp) foi de 1,4. A relação de 1,4 encontrada, quando se utilizou o circuito longo, está próxima da relação citada por MATOS et al (2003) que foi de 1,8 litros de água gastos para

cada litro de fruto processado. Porém, a relação de 0,55, encontrada quando se utilizou o circuito curto, é baixa, fazendo com que a água em recirculação apresente elevada concentração de carga orgânica e material em suspensão, podendo trazer prejuízos à qualidade final da bebida produzida com estes grãos. O maior volume utilizado para o beneficiamento utilizando-se o circuito longo deve-se à utilização do tanque de decantação que, para ser operado, necessitou de um volume mínimo de água de 12000 L.

Quando se utilizou o circuito curto foram feitas análises de regressão para cada variável estudada, em função do tempo de recirculação, sem a passagem do efluente pela peneira de malha, CC-Sp. O resultado é mostrado no Quadro 2. As equações lineares ajustadas para todas as variáveis, exceto pH, indicam que houve aumento proporcional na concentração com o tempo de operação do sistema.

**QUADRO 2 – Modelos de regressão ajustados às variáveis físicas e químicas do efluente das águas residuárias do descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro obtido na recirculação da água, no circuito curto, em função do tempo e coeficientes de determinação.**

<b>Modelo ajustado</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>
CE = 708,125 + 10,335 T**	0,84	0,81
pH = 5,075 + 0,020 T <sup>1/2</sup> ** - 0,001 T**	0,77	0,66
SS = 375,821 + 38,292 T**	0,90	0,88
ST = 5613,57 + 152,46 T**	0,87	0,85
DBO = 586,150 + 21,008 T**	0,56	0,47
DQO = 1212,79 + 47,233 T**	0,44	0,33

T = Tempo de recirculação da água; \*\* significativo a 1%, pelo teste t.

Desconsiderando-se o primeiro valor de pH apresentado, que referiu-se ao da água “limpa”, ainda não utilizada no processo, verificou-se que houve elevação seguido de decréscimo no pH com o período de

operação do sistema. A elevação do pH da água pode ser decorrente da mistura da água do reservatório de 3000 L, possivelmente de maior pH. O decréscimo no valor do pH foi decorrente da adição do material orgânico dos frutos reconhecidamente de reação ácida. Na Figura 8 estão apresentados os gráficos relativos a cada uma das variáveis analisadas. No gráfico que fornece a Demanda química de oxigênio (DQO) em função do tempo, a adição de água limpa no sistema pode explicar o abaixamento não esperado dos níveis de DQO aos 120 e 200 min.

Na avaliação da qualidade da água em recirculação no sistema de beneficiamento dos frutos do cafeeiro, verificou-se, a tendência de aumento na concentração de SS e ST com o tempo, o que está associado à entrada de maior quantidade de material particulado na água, à medida que novos lotes de frutos foram processados. O aumento na concentração de sólidos proporcionou aumento na DBO, DQO e CE, indicando que os mesmos eram constituídos por material orgânico e íons em solução.

Na Figura 9 estão apresentadas as curvas de variação na qualidade das amostras de água coletadas, antes do tanque de decantação (AT) e depois do tanque (DT), quando se utilizou o circuito longo sem passagem pela peneira pressurizada de malha e com passagem pelo tanque de decantação, CL-Sp.

Os resultados obtidos indicam que o decantador cumpriu, com eficiência, a sua função que é a de remover SS, e conseqüentemente, ST. O aumento na concentração de SS no final do período de operação (200 min) é indicativo de que o sistema começou a entrar em colapso, ou seja, por falta de descarga do lodo, a água em recirculação começou a carrear lodo retido no decantador. Acredita-se que, caso o decantador apresentasse tempo de detenção hidráulica tal como recomendado pela literatura, que é de 60 - 150 min (JORDÃO e PESSÔA, 1995), os resultados poderiam ser ainda melhores.

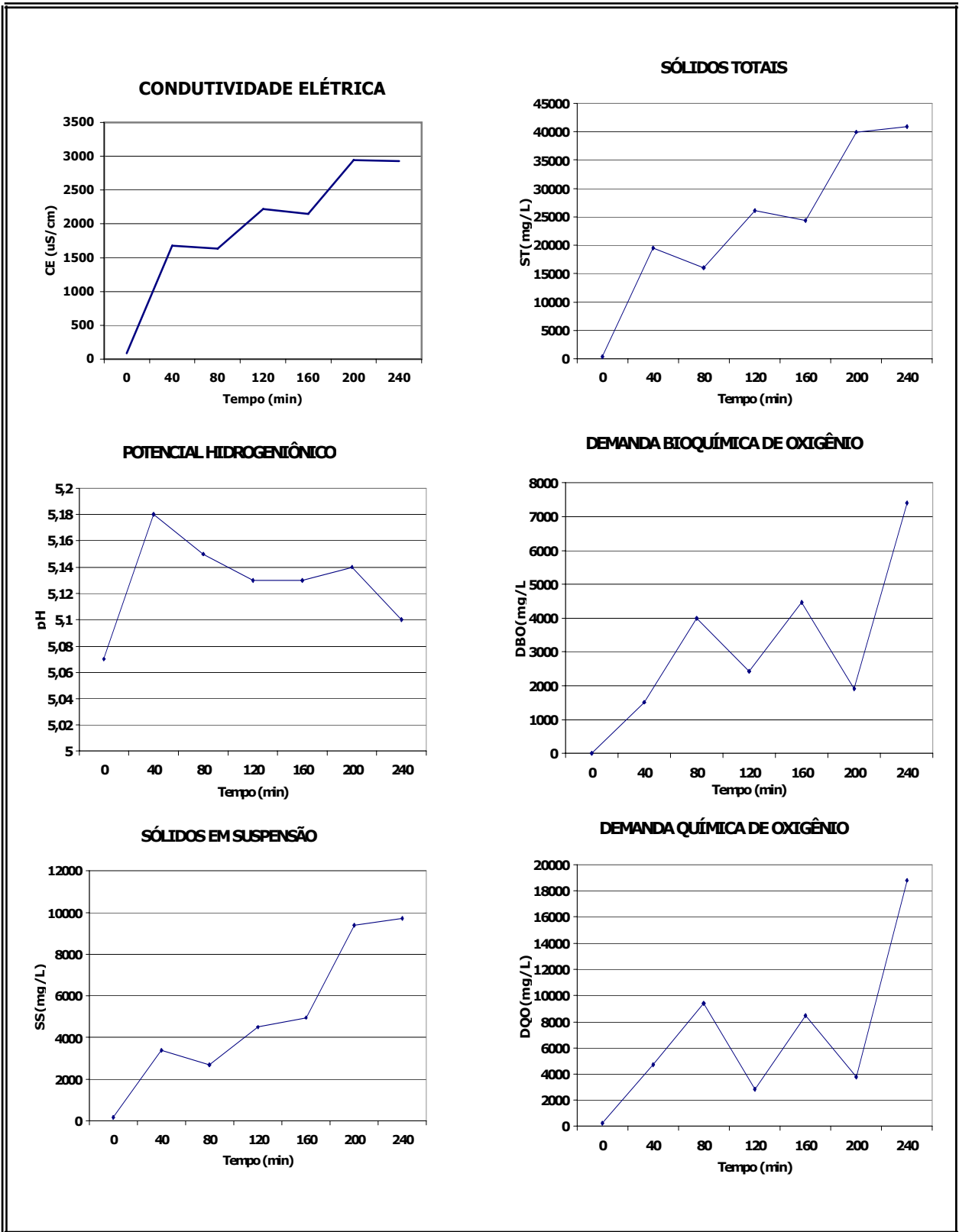


Figura 8 – Variação da qualidade da água em recirculação, sem passagem pela peneira pressurizada, no circuito curto. Gráficos relativos aos dados do Quadro A1 (Apêndice).

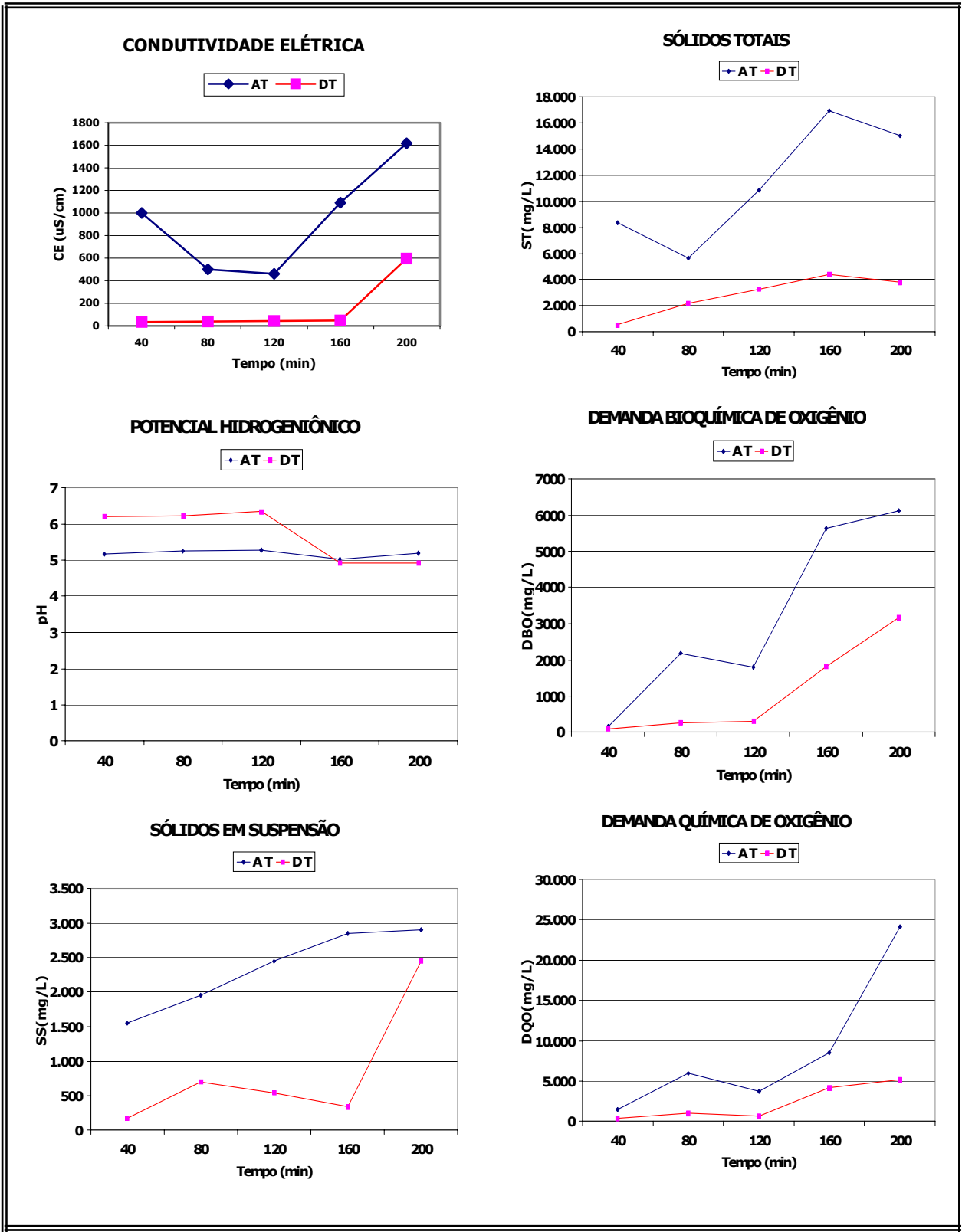


Figura 9 – Variação na qualidade do efluente (AT) e efluente (DT) do tanque de decantação, sem passagem pela peneira pressurizada de malha. Gráficos relativos aos dados do Quadro A2 (Apêndice).

As variações no pH efluente, em relação ao afluente, podem ser explicadas pela liberação de cátions de reação básica, presentes no lodo no fundo do decantador. Acredita-se que, com o passar do tempo, formou-se uma nova camada de lodo sobre a camada existente, razão por que essa liberação não mais ocorreu.

O sistema de decantação possibilitou significativa remoção de DBO da água residuária. A remoção de DQO foi semelhante à obtida na DBO, à exceção dos dados obtidos aos 200 min de operação do sistema, quando a remoção de DQO foi mais alta do que as obtidas nos outros períodos.

Os resultados de análises das diferenças para verificar o efeito do tanque de decantação na qualidade do efluente estão apresentados no Quadro 3.

Na Figura 10 estão apresentados os dados de qualidade das amostras do afluente (AP) e do efluente (DP) da peneira pressurizada, quando foi utilizado o circuito curto.

Diferentemente ao que foi observado em relação ao tanque de decantação (Figura 9) de uma forma geral, evidenciou-se pequena alteração na qualidade da água em recirculação, em circuito curto, pelo fato dela ter passado pela peneira pressurizada.

Os valores de condutividade elétrica foram semelhantes, demonstrando a ineficácia da peneira pressurizada de malha na remoção de sólidos dissolvidos.

A remoção de sólidos totais, bem como a de sólidos em suspensão, potencialmente as maiores contribuições esperadas da peneira pressurizada de malha, foi pequena. Os resultados obtidos não indicam a obtenção de efeito compensador do equipamento na recirculação da água.

A remoção obtida, após 120 min de operação do sistema, na DBO ficou na faixa de 15 – 20% e de DQO na faixa de 10 – 25%. Considerando que o material orgânico presente é a principal razão de perda de qualidade da água no descascamento do fruto, provocando, inclusive

maus odores, o efeito da peneira pressurizada de malha, também em relação a estas variáveis, não foi satisfatório.

**QUADRO 3 - Teste para comparação de médias, circuito longo, sem passagem do efluente pela peneira pressurizada, mas pelo tanque de decantação, de variáveis de qualidade de água amostrada antes do tanque (AT) e depois do tanque (DT).**

Variáveis	Dados	Médias	Desvios	T calc	GL	Prob.	Sign.
CE-AT		933,0000	477,6102				
Diferença	5	780,8000	316,3307	5,519	4	0,0053	***
CE-DT		152,2000	247,0145				
PH-AT		5,1800	0,0957				
Diferença	5	-0,5400	0,6694	-1,804	4	0,1456	NS
PH-DT		5,7200	0,7323				
SS-AT		2337,0000	584,7606				
Diferença	5	1496,6000	768,3051	4,356	4	0,0121	***
SS-DT		840,4000	921,6728				
ST-AT		11353,2000	4644,7340				
Diferença	5	8511,0000	3550,1144	5,361	4	0,0058	***
ST-DT		2842,2000	1526,6726				
DBO-AT		3176,6000	2585,6812				
Diferença	5	2049,9000	1431,0177	3,203	4	0,0328	***
DBO-DT		1126,7000	1337,0556				
DQO-AT		8771,2000	8985,6731				
Diferença	5	6500,4000	7143,4134	2,035	4	0,1116	NS
DQO-DT		2270,8000	2211,3445				

NS - não significativo em nível de 10%; \*\*\* - significativo em nível de 10%, pelo teste t.  
 Variáveis: CE-AT/CE-DT - condutividade elétrica medida antes e depois do tanque; PH-AT/PH-DT - PH medido antes e depois do tanque; SS-AT/SS-DT - sólidos em suspensão medido antes e depois do tanque; ST-AT/ST-DT - sólidos totais medidos antes e depois do tanque; DBO-AT/DBO-DT - demanda bioquímica de oxigênio tomada antes e depois do tanque; DQO-AT/DQO-DT - demanda química de oxigênio tomada antes e depois do tanque.

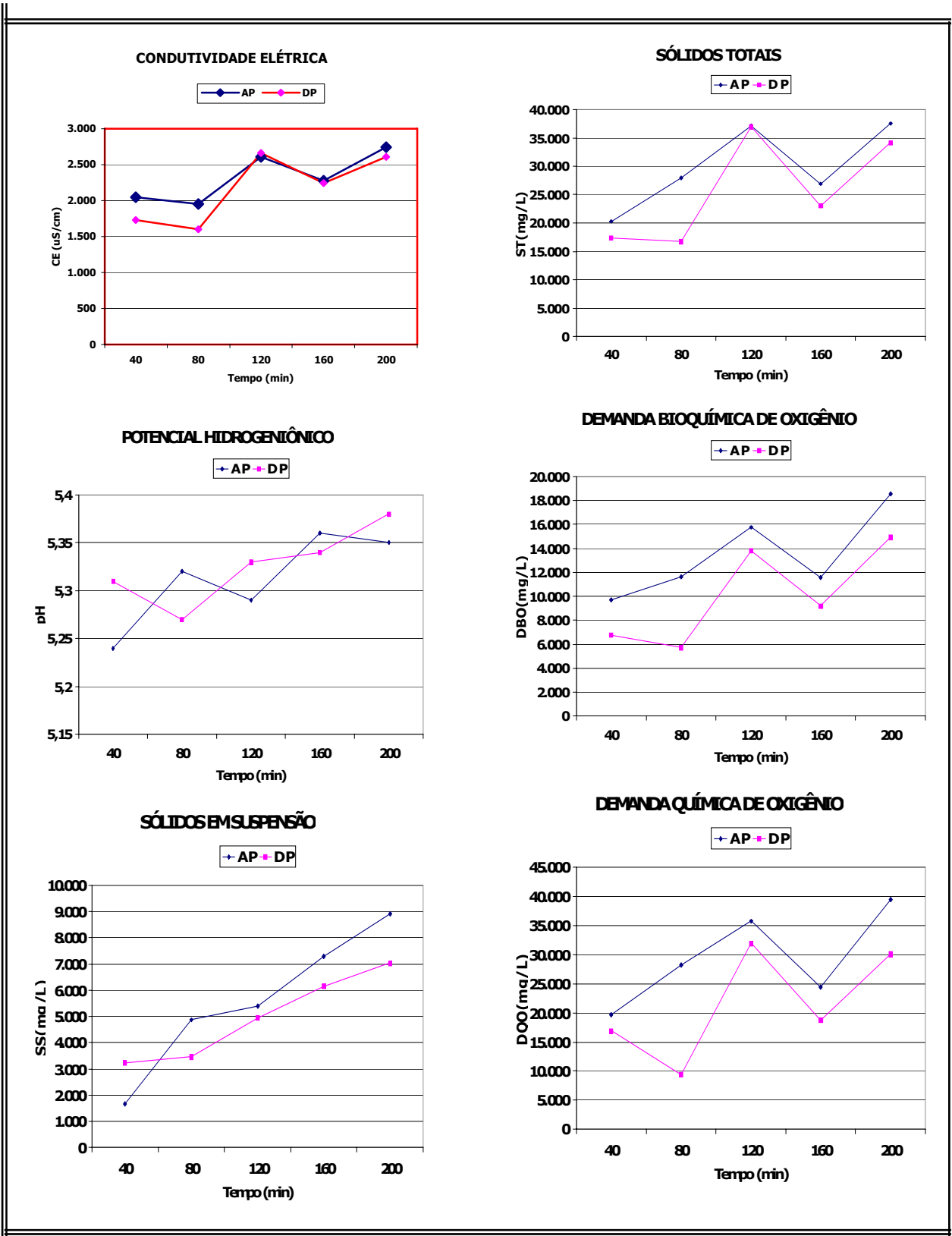


Figura 10 – Variação na qualidade do afluente (AP) e efluente (DP) da peneira pressurizada de malha, no circuito curto. Gráficos relativos aos dados do Quadro A3 (Apêndice).



O resultado da avaliação estatística dos dados obtidos está mostrado no Quadro 4. Verifica-se que, em nível de 10%, o uso da peneira teve influência sobre as variáveis ST, DBO e DQO e não apresentou diferença estatística para as demais variáveis.

**QUADRO 4 - Teste para comparação de médias das variáveis obtidas de amostras coletadas antes da peneira (AP) e depois da peneira (DP).**

Variáveis	Dados	Médias	Desvios	T calc	GL	Prob.	Sig.
CE-AP		2326,6000	342,5898				
Diferença	5	158,8000	175,0449	2,029	4	0,1124	NS
CE-DP		2167,8000	489,3763				
PH-AP		5,3120	0,0487				
Diferença	5	-0,0140	0,0483	-0,649	4	0,5520	NS
PH-DP		5,3260	0,0404				
SS-AP		5630,0000	2736,7453				
Diferença	5	661,4000	1349,0746	1,096	4	0,3345	NS
SS-DP		4968,6000	1657,8675				
ST-AP		29997,6000	7333,6397				
Diferença	5	4333,8000	4125,3041	2,349	4	0,0786	***
ST-DP		25663,8000	9421,0977				
DBO-AP		13443,4000	3613,7480				
Diferença	5	3352,6000	1565,3510	4,789	4	0,0087	***
DBO-DP		10090,8000	4128,2732				
DQO-AP		29508,0000	8081,5543				
Diferença	5	8076,0000	6502,7133	2,777	4	0,0500	***
DQO-DP		21432,0000	9456,2318				

NS – não significativo em nível de 10%; \*\*\* - significativo em nível de 10%, pelo teste t.  
 Variáveis: CE-AP/CE-DP – condutividade elétrica medida antes e depois da peneira; PH-AP/PH-DP – PH medido antes e depois da peneira; SS-AP/SS-DP – sólidos em suspensão medido antes e depois da peneira; ST-AP/ST-DP – sólidos totais medidos antes e depois da peneira; DBO-AP/DBO-DP – demanda bioquímica de oxigênio tomada antes e depois da peneira; DQO-AP/DQO-DP – demanda química de oxigênio tomada antes e depois da peneira.

Na Figura 11 estão apresentadas a dispersão na qualidade das amostras coletadas, antes da peneira pressurizada (AP), depois da passagem pela peneira e antes do tanque de decantação (DP) e depois do tanque (DT), quando se utilizou o circuito longo com o uso da peneira pressurizada, CL-Cp.

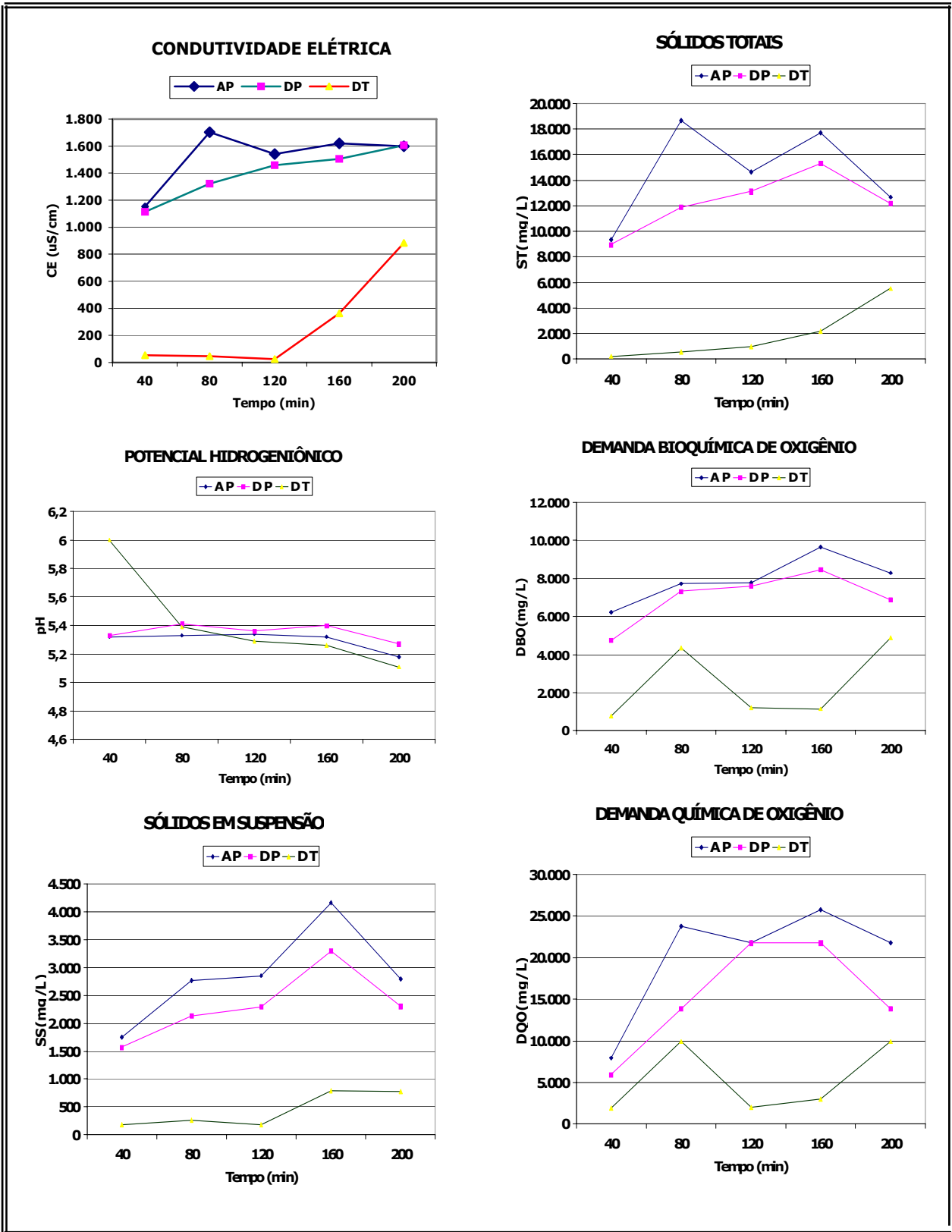


Figura 11 - Variação na qualidade do afluente da peneira (AP), do efluente da peneira (DP) e do efluente do tanque de decantação (DT), no circuito longo. Gráficos relativos aos dados do Quadro A4 (Apêndice).

Os resultados das análises estatísticas dos dados, avaliando-se separadamente o efeito da peneira e do tanque de decantação, estão apresentados no Quadro 5.

**QUADRO 5 - Teste para comparação de médias, circuito longo, passagem do efluente pela peneira pressurizada e pelo tanque de decantação, coleta das amostras antes da peneira (AP) e depois da peneira (DP) e depois do tanque (DT).**

Variáveis	Dados	Médias	Desvios	T calc	GL	Prob.	Sign.
CE-AP		1523,4000	214,7820				
Diferença	5	122,0000	151,3588	1,802	4	0,1458	NS
CE-DP		1401,4000	190,0218				
Diferença	5	1126,6800	266,3278	9,460	4	0,0007	***
CE-DT		274,7200	367,7814				
PH-AP		5,2980	0,0665				
Diferença	5	-0,0560	0,0378	-3,311	4	0,0296	***
PH-DP		5,3540	0,0568				
Diferença	5	-0,0560	0,3477	-0,360	4	0,7370	NS
PH-DT		5,4100	0,3447				
SS-AP		2866,0000	856,5293				
Diferença	5	545,4000	246,5731	4,946	4	0,0078	***
SS-DP		2320,6000	624,4412				
Diferença	5	1885,2000	449,1132	9,386	4	0,0007	***
SS-DT		435,4000	316,4187				
ST-AP		14611,8000	3782,5830				
Diferença	5	2309,2000	2625,3380	1,967	4	0,1206	NS
ST-DP		12302,6000	2298,4760				
Diferença	5	10405,2000	2649,1177	8,783	4	0,0009	***
ST-DT		1897,4000	2163,9137				
DBO-AP		7937,6000	1238,4744				
Diferença	5	934,2000	593,7632	3,518	4	0,0245	***
DBO-DP		7003,4000	1390,0890				
Diferença	5	4545,6000	2254,1162	4,509	4	0,0107	***
DBO-DT		2457,8000	1972,8268				
DQO-AP		20196,0000	7056,1378				
Diferença	5	4752,0000	4105,8154	2,588	4	0,0608	***
DQO-DP		15444,0000	6626,3474				
Diferença	5	10114,0000	8397,5580	2,693	4	0,0545	***
DQO-DT		5330,0000	4193,0538				

NS - não significativos em nível de 10%; \*\*\* - significativos em nível de 10%, pelo teste t.

Variáveis: CE-AP/CE-DP/CE-DT - condutividade elétrica medida antes da peneira, depois da peneira e depois do tanque; PH-AP/PH-DP/PH-DT - PH medido antes da peneira, depois da peneira e depois do tanque; SS-AP/SS-DP//SS-DT - sólidos em suspensão medido antes da peneira, depois da peneira e depois do tanque; ST-AP/ST-DP/ST-DT - sólidos totais medidos antes da peneira, depois da peneira e depois do tanque; DBO-AP/DBO-DP/DBO-DT - demanda bioquímica de oxigênio tomada antes da peneira, depois da peneira e depois do tanque; DQO-AP/DQO-DP/DQO-DT - demanda química de oxigênio tomada antes da peneira, depois da peneira e depois do tanque.

Verifica-se neste quadro que as medidas tomadas antes e depois da peneira pressurizada não foram significativas em nível de 10% de probabilidade apenas para a condutividade elétrica e sólidos totais, enquanto que para as medidas tomadas depois da peneira e antes do tanque e tomadas depois do tanque não se mostrou não significativa em nível de 10% apenas o PH.

No Quadro 6, apresenta-se os resultados das análises estatísticas dos dados, avaliando-se o conjunto, peneira e o tanque de decantação. CARVALHO (2001), trabalhando com água residuária da lavagem e despulpa dos frutos do cafeeiro, utilizando peneira de fluxo axial de malha 28, obteve eficiência de remoção de 37,5% de ST e de 35% de DBO. De forma semelhante ao que foi mostrado na Figura 10, a peneira pressurizada pouco afetou a qualidade da água, ao passo que o decantador sim, à exceção do valor de pH. Os resultados comprovam que o decantador foi muito mais importante para a melhoria na qualidade da água do que a peneira pressurizada de malha.

No Quadro 7 está representada a eficiência de separação sólido/líquido e de remoção de carga orgânica do efluente do sistema de lavagem e descascamento/despulpa de frutos do cafeeiro, obtida pela diferença entre a razão entre as concentrações afluentes e efluentes de sólidos e carga orgânica na peneira pressurizada de malha, no tanque de decantação e a eficiência obtida pelo conjunto peneira de malha mais o tanque de decantação.

**QUADRO 6 - Teste para comparação de médias, circuito longo, passagem do efluente pela peneira pressurizada e pelo tanque de decantação, coleta das amostras antes da peneira (AP) e depois do tanque (DT).**

Variáveis	Dados	Médias	Desvios	T cal	GL	Prob.	Sign.
CE-AP		1523,4000	214,7820				
Diferença	5	1248,6800	369,2986	7,561	4	0,0016	***
CE-DT		274,7200	367,7814				
PH-AP		5,2980	0,0665				
Diferença	5	-0,1120	0,3218	-0,778	4	0,4799	NS
PH-DT		5,4100	0,3447				
SS-AP		2866,0000	856,5293				
Diferença	5	2430,6000	678,1035	8,015	4	0,0013	***
SS-DT		435,4000	316,4187				
ST-AP		14611,8000	3782,5830				
Diferença	5	12714,4000	4515,3275	6,296	4	0,0033	***
ST-DT		1897,4000	2163,9137				
DBO-AP		7937,6000	1238,4744				
Diferença	5	5479,8000	2180,0107	5,621	4	0,0049	***
DBO-DT		2457,8000	1972,8268				
DQO-AP		20196,0000	7056,1378				
Diferença	5	14866,0000	6614,3314	5,026	4	0,0074	***
DQO-DT		5330,0000	4193,0538				

NS – não significativo em nível de 10%; \*\*\* - significativo em nível de 10%, pelo teste t.

Variáveis: CE-AP/CE-DT – condutividade elétrica medida antes da peneira e depois do tanque; PH-AP/PH-DT – PH medido antes da peneira e depois do tanque; SS-AP/SS-DT – sólidos em suspensão medido antes da peneira e depois do tanque; ST-AP/ST-DT – sólidos totais medidos antes da peneira e depois do tanque; DBO-AP/DBO-DT – demanda bioquímica de oxigênio tomada antes da peneira e depois do tanque; DQO-AP/DQO-DT – demanda química de oxigênio tomada antes da peneira e depois do tanque.

**QUADRO 7 - Eficiência na remoção, em percentagem, entre as concentrações afluentes e efluentes de sólidos e carga orgânica das águas residuárias do descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro**

Eficiência	CC-Cp	CL-Cp			CL-Sp
	(P)	(P)	(T)	(P+T)	(T)
ST	15	14	85	86	75
SS	15	18	82	86	67
CE	8	8	82	83	88
DBO	26	12	65	69	66
DQO	27	23	60	74	74

(P) – Peneira de malha; (T) – Tanque de decantação; (P+T) – Conjunto: Peneira de malha e tanque de decantação

No circuito curto, houve pequena influência da presença da peneira nos valores de CE, que podem ser, também, interpretados como concentração de SD nas águas em recirculação no processamento do fruto do cafeeiro, o que já era, de certa forma, esperado, já que o sistema, tal como proposto, tem na remoção física a sua principal característica. O afluente e o efluente da peneira apresentaram pequena instabilidade, o que pode ser considerado de ocorrência natural, no valor do pH (Figura 10). Por essa razão, considera-se que não houve efeito da peneira no valor do pH das águas em recirculação.

Avaliando-se a qualidade da água, após passar pela peneira, verificou-se resultados semelhantes aos obtidos no sistema de tratamento longo, ou seja, naquele em que o decantador está incluído como unidade de tratamento. A peneira proporcionou eficiência de 15% na remoção de ST e SS, quando operou em circuito curto, e remoção de 14% de ST e 18% de SS, quando operou em circuito longo. De forma semelhante ao que foi observado para os sólidos, verificou-se que a peneira não proporcionou efeitos significativos na remoção da carga orgânica (DBO e DQO), no circuito curto e no circuito longo. Os resultados obtidos indicam que a peneira não proporcionou qualidade de água suficiente para que ela possa permanecer por um período de 8h, em recirculação, no sistema operado em circuito curto.

No tanque de decantação, há remoção de sólidos em suspensão e não de sólidos dissolvidos, a não ser que sejam adicionadas substâncias coagulantes à água residuária. Como isso não ocorre, neste trabalho, os menores valores de CE observados no efluente do tanque de decantação, indicativo de menor concentração de sólidos dissolvidos na água, estão associados à diluição inicial da água residuária efluente da peneira de malha no tanque de decantação, em virtude de já existir água "limpa" no decantador. Os resultados obtidos para CE indicam que a peneira pouco interferiu na CE ou concentração de SD na água, restringindo-se a remover partículas sólidas mais grosseiras.

A remoção de SS da água com a utilização da peneira, tal como observado para ST, não foi suficiente para proporcionar efeitos significativos na qualidade da água, apesar de ser esta a principal função da máquina de separação sólido/líquido. Verificou-se também que o uso do tanque de decantação mostrou-se muito mais eficiente para a remoção de sólidos (ST e SS) da água do que a peneira. Comparando-se os dados relativos à eficiência na remoção de sólidos e carga orgânica, pelo tanque de decantação, com e sem a presença da peneira no sistema, observou-se que a presença da peneira proporcionou maior eficiência na remoção de sólidos (ST e SS), porém, o mesmo não foi observado para DBO e CE. Acredita-se que o fracionamento das partículas sólidas no processo, pela pressão exercida sob a água residuária contra a malha, tenha aumentado a concentração de SD na água residuária, e, conseqüentemente, a concentração da DBO solúvel.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

A política tarifária praticada pelas companhias municipais e estaduais de saneamento e a implementação das estruturas de outorga e cobranças pelo uso da água têm levado muitos produtores a recircular a água da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro. Entretanto com a recirculação, vão sendo incorporados sólidos dissolvidos e partículas à água o que deprecia sua qualidade e prejudica o desempenho das máquinas.

Com a realização do presente trabalho objetivou-se analisar o desempenho de uma peneira pressurizada de malha na remoção de sólidos e de material orgânico, quando adicionada ao processo tradicional de processamento dos frutos do cafeeiro, por via úmida. O experimento foi realizado no Setor de Beneficiamento de Frutos do Cafeeiro da Fazenda Braúna, situada no Município de Araponga, MG.

O sistema tradicional de recirculação da água foi operado de duas formas: em circuito curto, em que o efluente das máquinas de processamento foi direcionado a uma caixa d'água de 1000 litros, de onde foi bombeada até a caixa d'água de 3000 litros que alimentava o sistema, reiniciando-se o processo, ou em circuito longo e, neste caso, o efluente das máquinas de processamento foi direcionado a um tanque de decantação, com capacidade para 12000 litros, de onde foi bombeado até a caixa de 3000 litros, reiniciando-se o processo. Foram utilizados os volumes de 5000 e 15000 litros, respectivamente, na operação do sistema em circuitos curto e longo. A peneira pressurizada de malha, objeto de avaliação deste trabalho, foi instalada visando-se o tratamento da água proveniente das máquinas de processamento. O seu efluente foi direcionado ora à caixa de 1000 litros, ora ao tanque de decantação, de onde, em ambos os casos, foi bombeada para a caixa d'água de 3000



litros, no início do processo. Amostras da água em recirculação foram coletadas em diferentes posições do circuito hidráulico, em intervalo de 40 minutos, a partir do início do processo de beneficiamento, ao longo de uma jornada diária de processamento. No sistema com circuito curto de recirculação foram coletadas amostras antes e depois da passagem da água pela peneira. No sistema com circuito longo de recirculação foram coletadas amostras antes e depois do peneiramento e depois do tanque de decantação.

Nas amostras coletadas foi medida a condutividade elétrica (CE) e o potencial hidrogeniônico (pH) e quantificadas as concentrações de sólidos suspensos (SS), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Os dados foram analisados utilizando-se o teste "t" de Student, para dados pareados, no nível de 10% de probabilidade.

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

a) no circuito curto:

- Houve diferença na remoção de ST, DBO e DQO, por efeito da peneira;
- A peneira apresentou baixa eficiência na remoção de CE (8%), ST (15%), SS (15%), DBO (26%) e DQO (27%);
- A inclusão da peneira não proporcionou qualidade suficiente na água em recirculação que possibilitasse a sua utilização por uma jornada diária de 8 horas de trabalho.

b) no circuito longo:

- Houve diferença na remoção de SS, DBO e DQO, por efeito da peneira;
- Verificou-se que o tanque de decantação foi mais eficiente na remoção de CE (88%), ST (75%), SS (77%), DBO (66%) e DQO (74%) da água em recirculação;

Com base nos resultados encontrados, conclui-se que a peneira pressurizada de malha, nas condições estudadas no presente trabalho, não se mostrou adequada para o tratamento de águas recirculadas no processamento do fruto do cafeeiro.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19.ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation. 1998. p. 5-36 to 5-39.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ – ABIC. Disponível em: <[http://www.abic.com.br/scafe\\_historia.html](http://www.abic.com.br/scafe_historia.html)>. Acesso em: 5 jul. 2005.

BARTHOLO, G. F.; FILHO, A. A. R. M.; GUIMARÃES, P. T. G.; CHALFOUN, S. M. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. **Inf. Agropec.**, v. 14, n. 162, p. 33-44, 1989.

BELLI FILHO, P.; CASTILHO JUNIOR, A. B. **Dejetos de suínos**: aspectos qualitativos e quantitativos e tecnologias para controle da poluição ambiental. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1990. 19 p. (apostila)

BOTELHO, C. G.; CAMPOS, C. M.; VALLE, R. H. P.; SILVEIRA, I. A. **Recursos naturais renováveis e impacto ambiental**: água. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2001. 187 p.

CABANELLAS, C. F. G. **Tratamento da água sob recirculação em escala laboratorial, na despolpa dos frutos do cafeeiro**. 2004. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

CAMPOS, L. P. R.; LOPES, A. L. B.; HORTA, A. H. L.; CARNEIRO, R. **Licenciamento ambiental:** coletânea de legislação. Belo Horizonte: FEAM; Projeto Minas Ambiente, 1998. 382 p. (Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios, 5)

CARVALHO L. T. **Desenvolvimento de um sistema de separação mecânica sólido-líquido do efluente do sistema de lavagem e despulpa de frutos do cafeeiro.** 2001. 18 f. Projeto de Pesquisa (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2001.

CARVALHO, S. C.; LUZ, J. A. M. **Modelamento matemático de peneiramento vibratório (Parte 2):** simulação. **Rem. Rev. Esc. Minas**, v. 58, n. 2, p. 121-125, 2005.

DELGADO, E. A, BAROIS I. **Lombricompostage de la pulpa de café em México.** In: III Seminário Internacional sobre Biotecnologia na Agroindústria Cafeeira. Anais ... Londrina-PR. 1999, p. 335-343.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMPRESA MUNICIPAL DE ÁGUAS E RESÍDUOS DE PORTIMÃO – EMARP. Portugal. Disponível em: <[www.erman.pt/ambiente/livroagua/historiacronologia/1791/1791.php-17k](http://www.erman.pt/ambiente/livroagua/historiacronologia/1791/1791.php-17k)>. Acesso em: 12 jan. 2005.

GILBERTSON, C. B.; NIENABER, J. A. Separation of coarse solids from beef cattle manure. **Trans. ASAE**, v. 21 n. 6, p. 1185-1188, 1978.

HALL, T.; CROLL, B. Particle size as tools for managing Cryptosporidium risk in water treatment. **Wat. Sci. Tech.**, v. 36, n. 4, p. 143-149, 1997.

HUIJSMANS, J.; LINDLEY, J. A. Evaluation of a solid-liquid separator. **Trans. ASAE**, v. 31, n. 6, p. 1854-1858, 1984.

IMHOFF, K., IMHOFF, K.R. **Manual de tratamento de águas residuárias**. 26ª ed. São Paulo. Editora Edgard Blücher Ltda., 1986. 301p.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 1995. 720 p.

KAMINSKI, I.; VESCAN, N.; ADIN, A. Particle size distribution and wastewater filter performance. **Wat. Sci. Tech.**,v. 36, n. 4, p. 259-267, 1997.

KLOBER, D.; BOLLER, M. Particle removal in different filtration systems for tertiary wastewater treatment – a comparison. **Wat. Sci. Tech.**, v. 36, n. 4, p. 217-224, 1997.

LAWLER, D. F. Particle size distribution and treatment processes: theory and practice. **Wat. Sci. Tech.**, v. 36, n. 4, p. 15-23, 1997.

MAGALHÃES, M. A. **Modelagem do processo de filtração de água residuária de suinocultura em materiais orgânicos**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

MAGALHÃES, M. A. **Parâmetros para projeto e operação de filtros orgânicos utilizado no tratamento de águas residuárias da suinocultura**. 2002. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

MATOS, A. T. Tratamento e destinação final dos resíduos gerados no beneficiamento dos frutos do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Produção integrada de café**. Viçosa, MG: Suprema Gráfica e Editora, 2003. p. 647-708.

MATOS, A. T.; BORGES, J. D.; QUEIROZ, D. M. **Caracterização das águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE BIOTECNOLOGIA NA AGROINDÚSTRIA CAFEEIRA, 3., 1999. Londrina. Resumos... Londrina: 1999. p. 36.

MATOS, A. T.; LO MONACO, P. A.; PINTO, A. B.; FIA, R.; FUKUNAGA, D. C. Pollutant potential of wastewater from the coffee fruits processing. In: SOARES, A. A.; SATURNINO, H. M. (Eds.). **Environmental water: Competitive use and conservation strategies for water and natural resources**. Brasília, DF: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2001. p. 158-165.

MERKEL, A. J. **Managing livestock wastes**. Westport: Avi Publishing Company, 1981. 419 p.

METCALF, L.; EDDY, H.P. **Wastewater engineering: treatment disposal end reuse**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1991. 1334 p.

NIELSEN, J. N.; LYNNGAARD-JENSEN, A.; HASLING, A. Purification efficiency of Danish biological sand and filter systems. **Water Sci. Technol.**, 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, 1996. p. 423-432.

POVINELLI, J.; MARTINS, F. **Pesquisa sobre eficiência de filtros lentos em unidades piloto.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 7., 1973, Salvador. **Anais ...** Salvador, BA: Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Carlos, USP, 1973. 20 p. (Separata).

RAMALHO, R. S. **Tratamiento de águas residuales.** Barcelona: Editorial Reverte, 1996. 705 p.

SANTOS, H. R.; PRADO, G. S.; VIDAL, C. M. S.; MORUZZI, R. B.; CAMPOS, Jr. **Aplicabilidade das técnicas de determinação de tamanho de partículas em sistemas de tratamento de água e esgoto sanitário.** Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.9, n.4 – out/dez 2004, p. 291-300.

SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. **Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso.** São Paulo, SP: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. 234 p.

VASCO, J. Z. **Processamiento de frutos do café por via humeda y generación de subprodutos.** In: III Seminário Internacional sobre Biotecnologia na Agroindústria Cafeeira. Anais ... Londrina-PR. 1999, p. 345-355.

VERLEY, W. E.; MINER, J. R. A rotating flighted cylinder to separate manure solids from water. **Trans. ASAE**, v. 17, n. 518-520, 1974.

VIANNA, M. R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água.** 4.ed. Belo Horizonte, 2002. 576 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2.ed. Belo Horizonte, MG: 1996. 243 p.

## APÊNDICE

Quadro A1: Dados obtidos a partir das análises das amostras, utilizando-se o circuito curto, sem a passagem do efluente pela peneira pressurizada de malha

<b>Amostras</b>	<b>CE</b> <b>(<math>\mu\text{S.cm}^{-1}</math>)</b>	<b>PH</b>	<b>SS</b> <b>(<math>\text{mg.L}^{-1}</math>)</b>	<b>ST</b> <b>(<math>\text{mg.L}^{-1}</math>)</b>	<b>DBO</b> <b>(<math>\text{mg.L}^{-1}</math>)</b>	<b>DQO</b> <b>(<math>\text{mg.L}^{-1}</math>)</b>
1*	84,5	5,07	176	395	2,4	226
2	1.677	5,18	3.380	19.523	1.514	4.700
3	1.637	5,15	2.690	16.064	4.000	9.400
4	2.220	5,13	4.500	26.109	2.427	2.820
5	2.150	5,13	4.955	24.416	4.467	8.460
6	2.940	5,14	9.375	39.935	1.922	3.760
7	2.930	5,1	9.720	40.923	7.418	18.800
Média	1948,36	5,13	4970,86	23909,29	3107,20	6880,86

\* os dados relativos à primeira amostra foram considerados nas análises estatísticas



Quadro A2 - Resultados das análises feitas nas amostras coletadas antes (A T) e depois do tanque de decantação (D T), no circuito longo, sem passagem pela peneira pressurizada de malha

Amostras	CE( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )		pH		SS( $\text{mg.L}^{-1}$ )		ST( $\text{mg.L}^{-1}$ )		DBO( $\text{mg.L}^{-1}$ )		DQO( $\text{mg.L}^{-1}$ )	
	A T	D T	A T	D T	A T	D T	A T	D T	A T	D T	A T	D T
0*	31,1		6,47		10		138		77,7		40	
<b>1</b>	999	35,3	5,16	6,2	1.545	172	8.341	525	153	90,5	1.484	358
<b>2</b>	498	40,1	5,24	6,22	1.950	700	5.648	2.200	2.185	254	5.940	1.005
<b>3</b>	459	44,5	5,28	6,34	2.440	540	10.847	3.286	1.792	302	3.762	693
<b>4</b>	1.091	47,1	5,03	4,92	2.850	340	16.934	4.400	5.630	1.823	8.514	4.150
<b>5</b>	1.618	594	5,19	4,92	2.900	2.450	14.996	3.800	6.123	3.164	24.156	5.148
<b>Média</b>	<b>933</b>	<b>152,2</b>	<b>5,18</b>	<b>5,72</b>	<b>2337</b>	<b>840,4</b>	<b>9841</b>	<b>4354,4</b>	<b>3176,6</b>	<b>1126,7</b>	<b>8771,2</b>	<b>2270,8</b>

\* nas análises estatísticas não foram considerados os dados coletados no início do processo de circulação

Quadro A3: Dados obtidos a partir das amostras coletadas antes da peneira pressurizada (AP) e depois da peneira pressurizada (DP), utilizando-se o circuito curto

Amostra	Tempo (min)	CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )		pH		SS( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )		ST( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )		DBO( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )		DQO( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	
		A. P	D. P.	A. P	D. P.	A. P	D. P.	A. P	D. P.	A. P	D. P.	A. P	D. P.
0*		26,7		6,94		2		84		1,2		18,8	
1*	0		896		5,56		1.415		9.109		5.051		8.460
2	40	2.050	1.729	5,24	5,31	1.665	3.230	20.335	17.369	9.700	6.764	19.740	16.920
3	80	1.953	1.600	5,32	5,27	4.875	3.465	28.003	16.744	11.646	5.732	28.200	9.400
4	120	2.610	2.660	5,29	5,33	5.395	4.948	37.145	36.949	15.754	13.815	35.720	31.960
5	160	2.280	2.240	5,36	5,34	7.290	6.160	26.936	23.073	11.563	9.209	24.400	18.800
6	200	2.740	2.610	5,35	5,38	8.925	7.040	37.569	34.184	18.554	14.934	39.480	30.080
<b>Média</b>		<b>2326,6</b>	<b>2167,8</b>	<b>5,31</b>	<b>5,32</b>	<b>5630</b>	<b>4968,6</b>	<b>29997,6</b>	<b>25663,8</b>	<b>13443,4</b>	<b>10090,8</b>	<b>29508</b>	<b>21432</b>

\* nas análises estatísticas não foram considerados os dados coletados no início do processo de circulação

Quadro A4 – Dados das amostras obtidas quando se utilizou o circuito longo com coletas antes da peneira pressurizada (AP), depois da peneira pressurizada e antes do tanque (DP) e depois do tanque de decantação (DT)

Amostras	CE $\mu\text{S.cm}^{-1}$			pH			SS $\text{mg.L}^{-1}$			ST $\text{mg.L}^{-1}$			DBO $\text{mg.L}^{-1}$			DQO $\text{mg.L}^{-1}$		
	AP	DP	DT	AP	DP	DT	AP	DP	DT	AP	DP	DT	AP	DP	DT	AP	DP	DT
0	50,3			6,4			175			223			38			198		
1	1.153	1.115	55,6	5,32	5,33	6	1.750	1.570	175	9.363	8.968	223	6.214	4.743	758	7.920	5.940	1.900
2	1.702	1.322	46,6	5,33	5,41	5,39	2.765	2.130	260	18.670	11.894	564	7.732	7.327	4.331	23.760	13.860	9.900
3	1.543	1.457	25,4	5,34	5,36	5,29	2.855	2.298	182	14.662	13.121	975	7.782	7.588	1.189	21.780	21.780	1.980
4	1.620	1.507	362	5,32	5,4	5,26	4.160	3.300	790	17.688	15.330	2.193	9.660	8.473	1.140	25.740	21.780	2.970
5	1.599	1.606	884	5,18	5,27	5,11	2.800	2.305	770	12.676	12.200	5.532	8.300	6.886	4.871	21.780	13.860	9.900
<b>Média</b>	<b>1523,4</b>	<b>1401,4</b>	<b>274,72</b>	<b>5,298</b>	<b>5,354</b>	<b>5,41</b>	<b>2866</b>	<b>2320,6</b>	<b>435,4</b>	<b>14612</b>	<b>12303</b>	<b>1897,4</b>	<b>7937,6</b>	<b>7003,4</b>	<b>2457,8</b>	<b>20196</b>	<b>15444</b>	<b>5330</b>

\* nas análises estatísticas não foram considerados os dados coletados no início do processo de circulação