



**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
Área de Concentração: Infra-estrutura e Meio Ambiente**

**Rosdaéli Cecconello Menegaz**

**Remoção físico-química do fósforo por floco-sedimentação aplicado ao pós-tratamento  
de efluente de abatedouro avícola**

**Passo Fundo  
2011**

**Rosdaéli Cecconello Menegaz**

**Remoção físico-química do fósforo por floco-sedimentação aplicado ao pós-tratamento de efluente de abatedouro avícola**

Orientador: Professor Marcelo Hemkemeier, Doutor.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, sob a orientação do professor Dr. Marcelo Hemkemeier.

Passo Fundo

2011

**Rosdaéli Ceconello Menegaz**

**Remoção físico-química do fósforo por floco-sedimentação aplicado ao pós-tratamento de efluente de abatedouro avícola**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, sob a orientação do professor Dr. Marcelo Hemkemeier.

Data de aprovação: Passo Fundo, 06 de maio de 2011.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Marcelo Hemkemeier, Doutor.  
Orientador

---

Ranulfo Monte Alegre, Doutor.  
Universidade Estadual de Campinas/SP

---

Vandré Barbosa Brião, Doutor.  
Universidade de Passo Fundo

---

Luciane Maria Colla, Doutor.  
Universidade de Passo Fundo

Passo Fundo  
2011

## RESUMO

O lançamento de efluentes com altas cargas orgânicas e macronutrientes por indústrias do ramo avícola vem causando sérios problemas ambientais. Entre os macronutrientes, o fósforo, é apontado como um dos responsáveis pelo fenômeno da eutrofização dos corpos hídricos, causando o desequilíbrio do ecossistema aquático e a degeneração da qualidade da água. Em consequência dos problemas ambientais gerados pela eliminação desses efluentes e a ineficiência dos tratamentos em remover totalmente o fósforo, tornou-se necessário o estudo do tratamento físico-químico por floco-sedimentação com diferentes coagulantes (cloreto férrico, sulfato de alumínio, óxido e cloreto de cálcio) em diferentes concentrações como uma forma de otimizar o processo para a melhor remoção do fósforo em menor tempo. O trabalho foi dividido em 3 etapas: 1º etapa usadas as concentrações de 100mg/L e 300 mg/L ( $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ); 2º etapa usadas as concentrações de 100mg/L e 300 mg/L ( $\text{FeCl}_3+\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3+\text{CaO}$ ); 3º etapa otimização. O tempo de floculação foi de aproximadamente 10 minutos em velocidade de 40 rpm, enquanto que a coagulação ocorreu em menor tempo (115 segundos), com velocidade de 120 rpm, o pH mantido na faixa ótima para o uso dos diferentes coagulantes. O tratamento físico-químico por floco-sedimentação para o pós-tratamento demonstrou ser eficiente para remoção do fósforo em efluente do ramo avícola.

Palavras-chaves: fósforo, eutrofização, coagulação-floculação.

## ABSTRAT

The release of effluents with high organic loads and nutrients for poultry industries of the branch has been causing serious environmental problems. Among the macronutrients, phosphorus, is appointed as the one responsible for the phenomenon of eutrophication of water bodies, causing the imbalance of the aquatic ecosystem and the degeneration of water quality. As a result of environmental problems generated by disposal of waste and inefficiency of treatments to fully remove the phosphorus, it became necessary to study the physical-chemical by-settling floc with different coagulants (ferric chloride, aluminum sulfate, chloride and oxide calcium) at different concentrations as a way to optimize the process for better removal of phosphorus in less time. The concentrations used were 100 mg / L and 300 mg / L of pH and kept in optimal condition for the use of different coagulants. The flocculation time was approximately 10 minutes at a speed of 40 rpm, while the clotting occurred in less time (115 seconds), but its speed remained at 120 rpm. The physical-chemical treatment by-settling floc for post-treatment can be efficient for the removal of phosphorus in effluent from the poultry industry.

Keywords: phosphorus, eutrophication, coagulation-flocculation.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fluxograma das etapas do abate avícola.....	15
<b>Figura 2:</b> Resumo ilustrativo das análises para formas fracionadas de fósforo.....	31
<b>Figura 3:</b> Gráficos de caracterização do efluente.....	34
<b>Figura 4:</b> Gráficos de análises após tratamento físico-químico com o uso do cloreto férrico.....	36
<b>Figura 5:</b> Gráficos de análises após tratamento físico-químico com o uso do sulfato de alumínio .....	38
<b>Figura 6:</b> Gráficos de análises após tratamento físico-químico com o uso do óxido de cálcio .....	41
<b>Figura 7:</b> Gráficos de análises após tratamento físico-químico com o uso do cloreto de cálcio .....	43
<b>Figura 8:</b> Gráficos das eficiências calculadas para análises das diferentes formas de fósforo após o tratamento físico-químico com o uso do cloreto férrico.....	46
<b>Figura 9:</b> Gráficos das eficiências calculadas para análises das diferentes formas de fósforo após o tratamento físico-químico com o uso do sulfato de alumínio.....	48
<b>Figura 10:</b> Gráficos das eficiências calculadas para análises das diferentes formas de fósforo após o tratamento físico-químico com o uso do óxido de cálcio.....	51
<b>Figura 11:</b> Gráficos das eficiências calculadas para análises das diferentes formas de fósforo após o tratamento físico-químico com o uso do cloreto de cálcio.....	53
<b>Figura 12:</b> Gráficos de análises após tratamento físico-químico com o uso do cloreto férrico.....	56
<b>Figura 13:</b> Gráficos de análises após tratamento físico-químico com o uso do cloreto férrico com oxido de cálcio.....	58
<b>Figura 14:</b> Gráficos de análises após tratamento físico-químico com o uso do sulfato de alumínio.....	61
<b>Figura 15:</b> Gráficos de análises após tratamento físico-químico com o uso do sulfato de alumínio com oxido de cálcio.....	63
<b>Figura 16:</b> Gráficos das eficiências calculadas para análises das diferentes formas de fósforo após o tratamento físico-químico com o uso do cloreto férrico.....	66

<b>Figura 17:</b> Gráficos das eficiências calculadas para análises das diferentes formas de fósforo após o tratamento físico-químico com o uso do cloreto férrico com oxido de cálcio .....	68
<b>Figura 18:</b> Gráficos das eficiências calculadas para análises das diferentes formas de fósforo após o tratamento físico-químico com o uso do sulfato de alumínio.....	71
<b>Figura 19:</b> Gráficos das eficiências calculadas para análises das diferentes formas de fósforo após o tratamento físico-químico com o uso do sulfato de alumínio com oxido de cálcio .....	73
<b>Figura 20:</b> Gráficos de análises após tratamento físico-químico com diferentes coagulantes para a concentração de 300 mg/L.....	76
<b>Figura 21:</b> Gráficos de análises após tratamento físico-químico com diferentes coagulantes para a concentração de 450 mg/L.....	78
<b>Figura 22:</b> Gráficos de análises após tratamento físico-químico com diferentes coagulantes para a concentração de 600 mg/L.....	81
<b>Figura 23:</b> Gráficos das eficiências calculadas para análises das diferentes formas de fósforo após o tratamento físico-químico com diferentes coagulantes para a concentração de 300 mg/L.....	83
<b>Figura 24:</b> Gráficos das eficiências calculadas para análises das diferentes formas de fósforo após o tratamento físico-químico com diferentes coagulantes para a concentração de 450 mg/L.....	86
<b>Figura 25:</b> Gráficos das eficiências calculadas para análises das diferentes formas de fósforo após o tratamento físico-químico com diferentes coagulantes para a concentração de 600 mg/L.....	88

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Limites estabelecidos para Fósforo de acordo com a vazão do efluente.....	18
<b>Tabela 2:</b> Limites estabelecidos para Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio e Sólidos Suspensos, de acordo com a vazão do efluente.....	18
<b>Tabela 3:</b> Planejamento Experimental de otimização $3^2$ .....	29
<b>Tabela 4:</b> Resumo Anova Teste de Tukey's para análise de P-Total.....	91
<b>Tabela 5:</b> Resumo Anova Teste de Tukey's para análise de Ortofosfatos.....	92
<b>Tabela 6:</b> Resumo Anova Teste de Tukey's para análise de Polifosfatos.....	92
<b>Tabela 7:</b> Resumo Anova Teste de Tukey's para análise de P-Orgânico.....	92
<b>Tabela 8:</b> Resumo Anova Teste de Tukey's para análise de DQO e SST.....	93
<b>Tabela 9:</b> Resumo Anova Teste de Tukey's para análise de P-Total.....	94
<b>Tabela 10:</b> Resumo Anova Teste de Tukey's para análise de Ortofosfatos.....	94
<b>Tabela 11:</b> Resumo Anova Teste de Tukey's para análise de Polifosfatos.....	94
<b>Tabela 12:</b> Resumo Anova Teste de Tukey's para análise de P-Orgânico.....	95
<b>Tabela13:</b> Resumo Anova Teste de Tukey's para análise de DQO e SST.....	95

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

**IBGE:** Instituto de Geografia e Estatística

**ABEF:** Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frangos

**CONSEMA:** Conselho Estadual do Meio Ambiente

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxigênio

**DQO:** Demanda Química de Oxigênio

**NTK:** Nitrogênio Total Kjeldahl

**E (%):** Eficiência em porcentagem

**Q:** Vazão

**EPA:** Environmental Protection Agency

**ETE:** Estação de Tratamento de Efluentes

**pH:** Potencial Hidrogeniônico

**P-Total:** Fósforo Total

**P-Total Solúvel:** Fósforo Total Solúvel ou Fósforo Total Dissolvido

**P-Total Suspenso:** Fósforo Total Particulado ou Fósforo Total Suspenso

**P-Orgânico:** Fósforo Orgânico

**P-Orgânico Solúvel:** Fósforo Orgânico Solúvel

**P-Orgânico Suspenso:** Fósforo Orgânico Suspenso ou Fósforo Orgânico Particulado

**rpm:** Rotações por minuto

**SST:** Sólidos Suspenso Total

**UPF:** Universidade de Passo Fundo

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
2.1 Mercado de Carne.....	15
2.2 Efluente Avícola.....	16
2.3 Fósforo.....	19
2.4 Legislação Ambiental.....	19
2.5 Processos Físico Químico para Remoção do Fósforo .....	21
2.5.1 Coagulação-Floculação.....	21
2.5.2 Remoção físico-químico do Fósforo .....	23
2.5.3 Agentes Coagulantes.....	24
2.5.3.1 Cloreto Férrico .....	25
2.5.3.2 Sulfato de Férrico.....	26
2.5.4 Equilíbrio Químico.....	27
<b>3 MÉTODOS E MATERIAIS .....</b>	<b>29</b>
3.1 Delimitação do Trabalho.....	29
3.2 Local da Pesquisa.....	29
3.3 Caracterização dos Efluentes .....	30
3.4 Tratamento físico-químico por Floco-sedimentação.....	30
3.4.1 Operação e Procedimento do Jart-Test.....	30
3.4.2 Primeira etapa trabalho.....	31
3.4.3 Segunda etapa trabalho.....	31
3.4.4 Terceira etapa trabalho.....	31
3.5 Eficiência na Remoção de DQO, SST e P.....	32
3.6 Determinação Analítica.....	33
3.6.1 Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	33
3.6.2 Sólidos Suspenso Total.....	33
3.6.3 pH.....	33
3.6.4 Análise do Fósforo.....	33
3.6.4.1 Fósforo Total.....	34
3.6.4.2 Fósforo Total Solúvel.....	35
3.6.4.3 Fósforo Total Particulado.....	35
3.6.4.4 Ortofosfato Reativo.....	35
3.6.4.5 Ortofosfato Reativo Solúvel.....	35
3.6.4.6 Ortofosfato Reativo Particulado.....	36
3.6.4.7 Polifosfato.....	36
3.6.4.8 Polifosfato Solúvel.....	36
3.6.4.9 Polifosfato Particulado.....	
3.6.4.10 Fósforo Orgânico .....	
3.6.4.11 Fósforo Orgânico Solúvel.....	37
3.6.4.12 Fósforo Orgânico Particulado.....	37
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>38</b>
4.1 Caracterização.....	38
4.2 Primeira etapa.....	40
4.2.1 Eficiência no tratamento físico-químico com uso dos diferentes coagulantes.....	40
4.2.1.1 Cloreto férrico.....	40

4.2.1.2 Sulfato de alumínio.....	43
4.2.1.3 Oxido de cálcio.....	45
4.2.1.4 cloreto de cálcio.....	47
4.2.2 Análise estatística.....	50
4.3 Segunda etapa.....	54
4.3.1 Eficiência no tratamento físico-químico com uso dos diferentes coagulantes.....	54
4.3.1.1 Cloreto férrico.....	54
4.3.1.2 Cloreto férrico + Oxido de cálcio.....	56
4.3.1.3 Sulfato de alumínio.....	58
4.3.1.4 Sulfato de alumínio .+ Oxido de cálcio.....	61
4.3.2 Análise estatística.....	63
4.4 Terceira etapa-Otimização.....	68
4.4.1 Otimização P-total, P-total solúvel e P-total suspenso.....	68
4.4.2 Otimização Ortofosfato, Ortofosfato solúvel e Ortofosfato suspenso.....	70
4.4.3 Otimização Polifosfato, Polifosfato solúvel e Polifosfato suspenso.....	72
4.4.4 Otimização P-orgânico, P-orgânico solúvel e P-orgânico suspenso.....	73
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>76</b>
<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>77</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>78</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>82</b>
APÊNDICE A: Análise estatística descritiva Primeira Etapa .....	82
APÊNDICE B: Análise estatística descritiva Segunda etapa.....	84

## 1 INTRODUÇÃO

Em virtude do crescimento populacional e industrial, cresceram também os problemas ambientais. Em consequência desse crescimento as indústrias tiveram que atender a demanda populacional. Isso resulta em maior geração de efluentes que necessitam de tratamento e disposição para alcançar aos parâmetros estipulados pela legislação ambiental.

As indústrias de abate de frango consomem elevado volume de água potável em decorrência de vários procedimentos, utilizados para a industrialização do frango, entre estes, a limpeza do frango, de equipamentos, do piso, a escaldagem e o resfriamento. Durante todos estes processos ocorrem a eliminação de sangue, penas, pele, gordura, deixando a água imprópria para reuso devido às altas cargas de poluentes. Este tipo de efluente exige adequado tratamento visando a diminuição de DQO, cor e turbidez (SILVA, 2005).

Esse ciclo gera uma enorme preocupação com a questão ambiental, pois quanto maior o abate maior será o volume de efluentes gerado e segundo Silva (2005), para cada frango processado o volume de água consumido é de 15 L, o que produz uma vazão muito grande de efluente por ave. Este elevado volume de água consumida requer um bom e adequado tratamento para o efluente não ser lançado “in natura” no corpo receptor e também para poder reutilizar parte deste volume de água.

No processamento de abate de animais para a produção de subprodutos pode ocorrer a eliminação de carboidratos, gorduras, proteínas, fósforo e nitrogênio, o que ocasiona nos corpos hídricos receptores sérios problemas em conseqüências da multiplicação de microrganismos que utilizam oxigênio dissolvido, diminuindo assim a vida aquática (RIBEIRO, 1995).

Um dos principais problemas ambientais que ocorre nos corpos hídricos é a alta taxa de matéria orgânica e conseqüentemente o oxigênio dissolvido é altamente consumido pelos microrganismos que usam a matéria orgânica em sua atividade metabólica.

O nitrogênio e o fósforo são os responsáveis pela degradação da matéria orgânica pelo fato de ocasionar o crescimento de microrganismo no meio aquático. Ou seja, estes nutrientes geram preocupações como a eutrofização de corpos receptores. O efluente já tratado pode

ainda conter concentrações destes nutrientes suficientes para a proliferação destes microrganismos (NUNES, 2001).

O excesso de nitrogênio e fósforo nos rios ocasionam a eutrofização, causando o crescimento de plantas aquáticas, o desequilíbrio no ecossistema aquático e degeneração da qualidade da água. Consequentemente ocorre à proliferação das cianobactérias, podendo ocasionar a liberação de toxinas fatais ao ser humano e aos animais (FIGUEIRETO, 2007).

Segundo Von Sperling (2006), os problemas da eutrofização causam problemas estéticos e redirecionais tais como aumento da concentração de bactérias heterotróficas, mortandade dos peixes, dificuldade e elevação do custo para remoção das algas, aumento da toxicidade da água, redução de navegação, entre outros problemas.

O processo de industrialização nos abatedouros avícolas ocasiona poluição em virtude das características do tipo de despejo gerado durante a sua produção. No entanto, com o crescimento de produção de carne de frango, aumenta também o volume de efluente gerado a partir das atividades desenvolvidas no frigorífico (SCHOENHALS, 2006). Porém existem hoje tecnologias bastante desenvolvidas para tratamento prévio destes despejos, como é o caso do tratamento físico-químico por flocos decantação.

Existem vários tipos de tratamento de efluentes:

Porém o que remove com maior eficiência o fósforo é o tratamento físico-químico, que é um processo de flocos decantação que utiliza sais para agir como coagulante nos colóides e sólidos suspensos pertencentes às cargas poluentes do efluente e fazendo sua remoção. Segundo Wang (2005), os coagulantes de sais de alumínio ou ferro são os mais comuns na utilização para remoção do fósforo.

A remoção de nutrientes como o fósforo pode ser feita por precipitação química com aplicação de sais de alumínio ou ferro e por processo biológico. O tratamento de efluente por processo físico-químico possui vantagem em relação ao processo biológico, por ter alta eficiência na remoção do fósforo e por ser flexível, podendo ser adaptado em estações existentes ou em fase de implantação sem ocupar muito espaço. Os processos biológicos apresentam maior complexidade por dependerem das condições ambientais, dos substratos e da biomassa ativa, ocupando grande área (MARAIS, 1983; MULKERRINS; DOBSON; COLLERAN, 2004 apud FILHO et al. 2009).

O processo físico-químico para remover fósforo é uma técnica próspera, em virtude do benefício com a remoção do nutriente. O processo físico-químico pode ser empregado isolado ou em conjunto com processos biológicos. A aplicação de precipitação química com

processos biológicos, no tratamento confere alta flexibilidade na remoção do fósforo, sendo possível controlar a eficiência do processo de remoção do fósforo, independentemente das condições de operação dos processos biológicos de tratamento (FILHO et al. 2009).

A remoção do fósforo por processos químicos tem vantagem em relação a outros tipos de processos, ou seja, os processos químicos são previsíveis de fácil controle, são rápidos, podem ser automatizados e principalmente ocupa pequeno espaço para instalação com menor custo (FERNANDES, 2008).

De acordo com Consema número 128 deve-se estabelecer critérios e padrões a serem observados por todas as fontes poluidoras que lancem seus efluentes líquidos nos corpos da água. A porcentagem mínima para remoção do fósforo em efluente é de 75 %, ou seja, para indústrias que lancem fósforo menor ou igual a 10 000 m<sup>3</sup>/d de vazão devem lançá-los em corpo hídrico com a concentração de 1,0 mg/L de fósforo. Portanto a remoção do fósforo presente nas águas residuais pode ser um método eficaz para controle da eutrofização dos corpos hídricos (WANG, 2005).

O trabalho tem como objetivo proporcionar uma alternativa de pós tratamento de efluentes avícola para remoção físico-químico das diferentes formas de fósforo, a fim de obter um efluente tratado com qualidade que atenda aos padrões de lançamento recomendados pela legislação ambiental brasileira.

Os objetivos específicos são:

- a) Caracterizar o efluente tratado da ETE nos parâmetros de DQO, SST, pH;
- b) Caracterizar as diferentes formas químicas do fósforo no efluente da ETE;
- c) Avaliar a remoção físico-químico, por floco-sedimentação do fósforo nas suas diferentes formas;
- d) Otimizar os parâmetros de floco-sedimentação;

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Mercado de carne**

Nas últimas décadas houve grandes revoluções na industrialização da avicultura brasileira, passando da produção familiar para a industrial, com grande destaque para a região sul (SILVA, 2005).

De acordo com dados da ABEF - Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de frangos, a demanda por carne de frango vem crescendo significativamente. No primeiro semestre de 2008 as exportações de carne de frango totalizaram 1,8 milhões de toneladas, o que corresponde a um crescimento de 19% em comparação a janeiro-junho de 2007. Já no mês de junho os embarques totalizaram 330.000 t, o que corresponde o aumento de 27% acima do verificado em junho de 2007, atendendo a demanda da exportação. Este crescimento fez o Brasil passar para o segundo maior produtor do mundo, perdendo somente para a China, visando atender a demanda das exportações.

Segundo Santini e Meirelles (2004), isto ocorre pela mudança no hábito alimentar, ou seja, substituindo a carne vermelha pela carne branca. A consequência desta procura é o benefício que ela traz a saúde humana devido as suas características, pois tem pouca gordura, ou seja, baixo índice de colesterol. O peito do frango é parte com menor valor energético, no qual contem apenas 2% de lipídios. Também é rica em ferro e proteína de boa qualidade, onde têm aminoácidos indispensáveis a saúde (VENTURINI et al, 2007).

A crescente demanda pelo consumo de carne de frango, pode ser observada pela quantidade de frangos abatidos no segundo semestre de 2009, conforme dados do IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Animais abatidos e peso total das carcaças no ano de 2010

<b>Meses/2010</b>	<b>Número de cabeças abatidas (mil cabeças)</b>
Total	4 988 342
Janeiro	386 759
Fevereiro	376 020
Março	443 844
Abril	403 520
Maiο	418 750
Junho	413 806
Julho	434 778
Agosto	430 165
Setembro	417 954
Outubro	415 701
Novembro	413 447
Dezembro	433 544

Fonte: IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010.

## 2.2 Efluente avícola

Nas indústrias frigoríficas ocorre um consumo elevado de água em decorrência dos procedimentos de abate do frango como: depenagem, sangria, evisceração, lavagem da carcaça e dos materiais usados, o que gera alto volume de águas residuais. Porém o maior consumo de água ocorre durante a limpeza dos materiais e equipamentos, pois todas as indústrias devem atender as normas estipuladas pela fiscalização, assim emitindo garantia de qualidade satisfatória do produto ao cliente, com uma boa sanitização (EPA, 2002).

O processo de abate avícola é iniciado pela chegada dos caminhões com as aves e as mesmas são descarregadas para o abate. Os caminhões e as gaiolas são lavados com hipoclorito de sódio para desinfetar (NUNES, 1998).

Descarregadas as aves, as mesmas seguem para a pendura com os pés para ocorrer a insensibilização que tem por objetivo atordoar o frango para que este não se debata no momento da sangria e também para que o sangue saia em maior quantidade em um intervalo

curto de tempo, pois a insensibilização é um choque elétrico, deixando o músculo relaxado (MALDANER, 2008).

A degolação é um corte manual ou elétrico, no qual o sangue é recolhido por uma caneleta até o setor de subproduto. Após a sangria os frangos seguem para escaldagem com o objetivo de lavagem (SILVA, 2005). De acordo com Ribeiro (1995), o sangue é considerado o subproduto com maior valor de DBO em comparação com os demais subprodutos. O sangue correspondente de 6 % a 8% do peso dos frangos, no qual é de suma importância recuperá-lo, reduzindo assim 40 % da carga orgânica.

A evisceração, etapa que acontece após a escaldagem, consome um elevado volume de água. De acordo com Ribeiro (1995), na etapa de evisceração o consumo de água é de 2L/ave. Em decorrência deste processo a carga de poluente corresponde a 1/3, pois mesmo que seja filtrado pode conter pedaços de tecidos, gorduras, areia e resto de sangue.

O resfriamento ou chilling tem como objetivo lavar para limpar satisfatoriamente a carcaça do frango e também obter melhor congelamento e hidratação. Estes processos ocorrem em três tanques nas seguintes etapas:

- a) primeiro tanque: pré-chilling, a água é incorporada a 25 °C dilatando os poros para melhor lavagem, assim diminuindo as cargas bacterianas e sujeiras que poderão ser encontradas nos frangos.
- b) segundo tanque: a água está a 10 °C com o objetivo de fechar os poros e reter a água.
- c) terceiro tanque: o chilling - ocorre a diminuição da temperatura interna da carcaça devido a temperatura da água estar a 3 °C. O processo auxilia na etapa posterior do congelamento. No término desta etapa a temperatura já se elevou um pouco para 7 °C e o efluente gerado será rico em gordura e proteína (SILVA, 2005). A figura 1, apresenta o fluxograma de bate avícola.

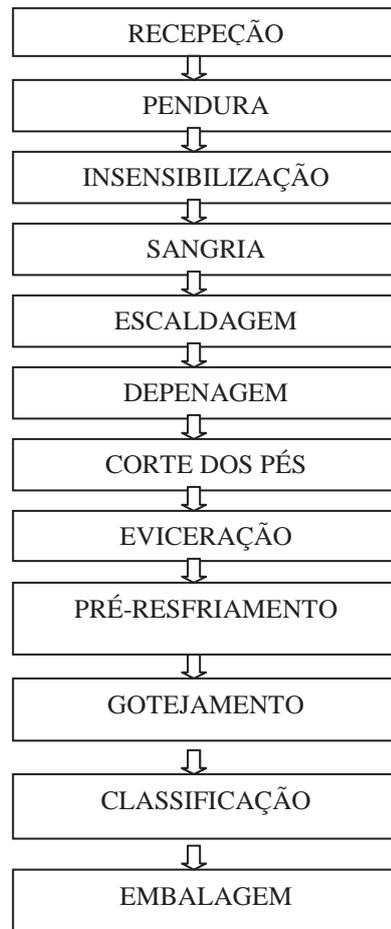


Figura 1: Fluxograma das etapas de abate avícola.  
Fonte: MALDANER, 2008.

As diversas etapas do processamento de abate e industrializações de frangos requerem uso de água para os processos de escaldagem, depenagem, evisceração, e resfriamento de carcaça, o que conseqüentemente gera elevado lançamento de efluente, (RIBEIRO, 1995). O Quadro 2 mostra os efluentes líquidos gerados na indústria e abate de aves.

Quadro2- Geração de efluentes líquidos no abate avícola

Operação		Despejos
Área de recepção	Recepção	Água de lavagem de pisos e paredes
Área suja	Sangria	Água de lavagem de pisos e do túnel de sangria
	Escaldagem	Água de extravasamento e drenagem dos tanques no Fim do período de processamento
	Depenagem	Água utilizada para o transporte de penas e lavagem de carcaça
	Remoção de cutículas	Água de lavagem de pés
Área limpa	Evisceração	Água utilizada para o transporte de vísceras e lavagem de carcaça
	Pré-resfriamento e resfriamento	Água de extravasamento e drenagem dos tanques no fim Do período de processamento
	Gotejamento	Água removida das carcaças

Fonte: Cetesb, 1980 apud Junior, 2006.

Nas indústrias de abate avícola os efluentes gerados possuem a característica de cargas elevadas de óleos e graxas, sólidos suspensos, nitrogênio e fósforo, variando de acordo com as atividades de produção de cada indústria. Também possuem alta carga de proteína e lipídios, que são os grandes responsáveis pela alteração do pH, dos sólidos totais, da DBO (demanda bioquímica de oxigênio), da DQO (demanda química de oxigênio) entre outros parâmetros (MARQUES, 2007).

### 2.3 Fósforo

O fósforo pode ser encontrado em águas residuais na forma de fósforos orgânicos que corresponde aproximadamente a 10% da concentração total. O fósforo é orgânico quando está ligado ao carbono na sua estrutura molecular (P-O-C), podendo estar solúvel ou insolúvel. Os fósforos inorgânicos correspondem a maior porcentagem das concentrações. Eles encontram-se na forma de fosfatos inorgânicos condensados (P-O-P), com a característica de polifosfatos ou metafosfatos cíclicos (RYBICKI , 1997 apud MARGUTI, 2008).

As três principais formas do fósforo em ambiente aquático são:

- Fosfato orgânico: fósforo que compõe as moléculas orgânicas;
- Ortofosfato (fosfato inorgânico) - radicais  $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{HPO}_4^{-2}$  e  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$  que se combina com cátions formando sais inorgânicos nas águas;

- Polifosfato ou fosfato condensado (fosfato inorgânico) polímeros de ortofosfato (GUALBERTO, 2009).

A figura 2 mostra o resumo esquemático das análises utilizado para a obtenção das formas fracionadas do fósforo.

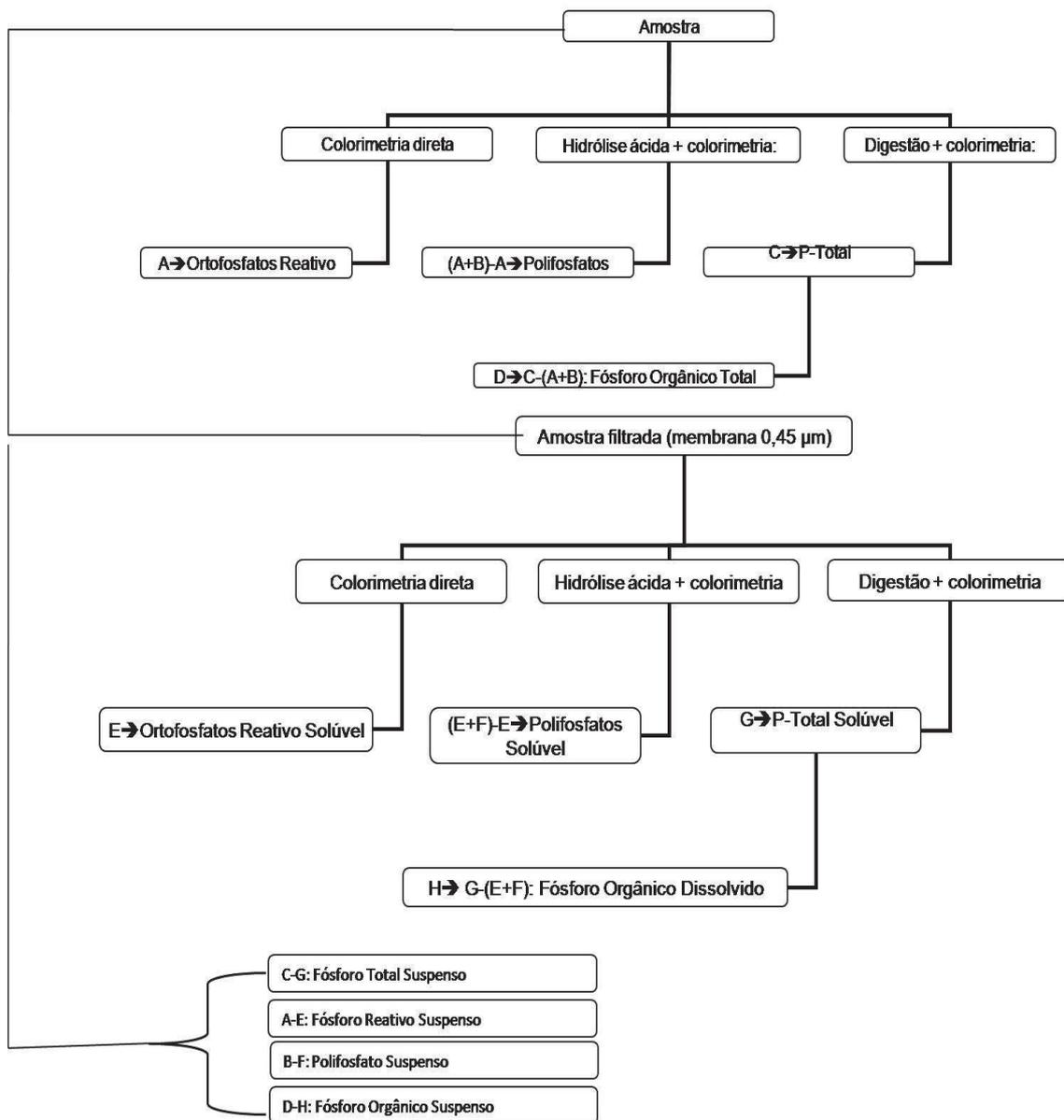


Figura 2: Adaptado Figura 4500-P:1 (APHA et al., 2005 apud BACCARIN, 2011).

## 2.4 Legislação ambiental

A eliminação de efluentes contendo alta taxa de fósforo é a principal causa de eutrofização desenvolvendo assim o crescimento de plantas aquáticas, como as algas. Isso acarreta na má qualidade da água devido o consumo de oxigênio dissolvido, como também ocasionando a proliferação de insetos (KARAGEORGIU, 2006).

O lançamento de águas residuais contendo fósforo deve atender aos padrões estipulados pela legislação ambiental antes de ser lançado em corpos hídrico receptores para minimizar os danos causados pelo mesmo. A não regulamentação das normas estipuladas pela legislação pode ocasionar sérios problemas ambientais e também acarretar em penas, multas e interrupções do lançamento das águas residuais (NARDI et al., 2005).

A Política Nacional dos Recursos Hídricos- Lei 9433 de 8 de janeiro de 1997 visa cobrar pelo lançamento de efluentes nos corpos hídricos pelo usuário-pagador, ou seja, a indústria que lança efluente nos rios deve pagar pelo seu lançamento, pois é o maior responsável pela poluição da água que é considerada um bem precioso e indispensável à sobrevivência da vida. Conforme Pereira (2004), o pagamento pela água é de acordo com o volume e tipo de efluente lançado, no qual os responsáveis pelo lançamento devem atender às normas fixadas pela legislação ambiental. Portanto a cobrança pelos recursos hídricos visa conscientizar os responsáveis a investir em técnicas e equipamentos para que os efluentes lançados pelas indústrias atendam a legislação, como também reutilizem o efluente tratado e minimizem o impacto gerado.

Segundo a Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente- Consema nº 128/2006 que dispõe sobre fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes e emissão de efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul, os limites estabelecidos para Fósforo (P) variam de acordo com a vazão do efluente, conforme mostrado na Tabela 1 e limites estabelecidos para DQO, DBO, SS, conforme tabela 2.

**Tabela 1:** Limites estabelecidos para Fósforo de acordo com a vazão do efluente

Faixa de vazão (m <sup>3</sup> /d)	Nitrogênio Total Kjeldahl			Fósforo	
	Concentração (mg /L NTK)	Eficiência NTK (%)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L Nam.)	Concentração (mg P/L)	Eficiência (%)
Q < 100	20	75	20	4	75
100 ≤ Q < 1000	20	75	20	3	75
1000 ≤ Q < 10000	15	75	20	2	75
10000 ≤ Q	10	75	20	1	75

Fonte: Adaptado de CONSEMA, 2006

Tabela 2: Limites estabelecidos para Demanda Bioquímica de Oxigênio Demandam Química de Oxigênio e Sólidos Suspensos, de acordo com a vazão do efluente.

Faixa de vazão (m <sup>3</sup> /d)	DBO <sub>5</sub> (mg /L O <sub>2</sub> )	DQO (mg /L O <sub>2</sub> )	SS (mg/L)
Q < 20	180	400	180
20 ≤ Q < 100	150	360	160
100 ≤ Q < 200	120	330	140
200 ≤ Q < 500	100	300	100
500 ≤ Q < 1000	80	260	80
1000 ≤ Q < 2000	70	200	70
2000 ≤ Q < 10000	60	180	60
1000 ≤ Q	40	150	50

Fonte: Adaptado de CONSEMA, 2006.

## 2.5 Processos físico-químicos para remoção do fósforo

### 2.5.1 Coagulação-floculação

O processo de coagulação-floculação pode ser empregado tanto como etapa de pré-tratamento como tratamento terciário para água potável ou efluente industrial (SENA, 2005). Para Nunes (2004), o tratamento físico-químico por coagulação e floculação, pode ter o

auxílio do tratamento biológico para melhor remoção da carga orgânica, ou seja, quando não se consegue remover totalmente a carga orgânica do efluente devido à alta concentração. O tratamento físico-químico consiste em transformar as impurezas encontradas no efluente em suspensão em flocos, para remoção.

Segundo Nunes (2004), o processo de coagulação é um processo rápido, ou seja, a etapa de desestabilização é consumida em questão de segundos, durante a mistura rápida do coagulante. O agente coagulador é misturado no efluente ocasionando a hidrólise, polimerização e a reação com alcalinidade, formando hidróxidos. A reação produz íons positivos que desestabilizam as cargas negativas dos colóides e sólidos suspensos, deixando assim o potencial zeta próximo de zero ou ponto isoelétrico próximo de zero, permitindo aglomeração das partículas e formando os flocos. Estas partículas negativas dos colóides ocasionam nas águas naturais a turbidez e a cor (CARDOSO, 2003).

A coagulação é um processo de desestabilização da dispersão coloidal, obtida através da redução das forças de repulsão entre as partículas com cargas negativas, por meio da adição de produtos químicos, com a agitação para homogeneizar a mistura (SENA, 2005).

A mistura é feita em tanques com agitação rápida por misturadores hidráulicos ou mecânicos que fazem a dispersão do coagulante com energia suficiente para dispersão total das partículas, (NUNES, 2004).

A reação de hidrólise é rápida ocorrendo a desestabilização dos colóides e algumas gramas do coagulante agem na água num pequeno tempo, com grande turbulência na aplicação, acarretando uma distribuição semelhante dos coagulantes a água (NETTO et al., 1991).

De acordo com Schoenhals (2006) para se obter coagulação-floculação são necessários:

- a) redução do Potencial Zeta;
- b) fornecimento de energia para provocar agitação que acarrete maior número de choques;
- c) adição de produtos químicos que auxiliem na formação de aglomerados de partículas, formando flocos.

Na floculação, etapa que demanda processo lento, prevalecem os aspectos físicos como: colisões e crescimento dos flocos. A floculação ocorre por processo de mistura lenta, com gradiente de velocidade aproximadamente entre  $20 \text{ s}^{-1}$  a  $80 \text{ s}^{-1}$ , com o objetivo de formar flocos maiores com as partículas desestabilizadas pela colisão entre as mesmas. O tempo ideal de agitação para formar bons flocos, ou seja, grandes e densidades suficiente para sedimentar

é em torno de trinta minutos. Para atingir bons flocos deve-se observar a dosagem adequada do coagulante, ou seja, pequenas doses não chegam a atingir o ponto isoelétrico e com dosagens altas ocorre o contrário, revertendo o sinal das cargas, restabilizando-as (NUNES, 2004).

A floculação é um processo que ocorre após a coagulação, aglomerando os sólidos suspensos e as partículas coloidais formadas na coagulação, formando partículas com maiores dimensões através do auxílio de coadjuvantes de coagulação, também chamados de floculantes. Os processos de coagulação e floculação são bastante complexos. Em decorrência disso é necessário fazer ensaios de laboratório para aperfeiçoar a dosagem adequada, duração e intensidade da mistura e floculação, no qual auxilia na tratabilidade das águas residuais (SENA, 2005).

A otimização dos parâmetros tempo (t), gradiente de velocidade (G) e pH para a coagulação e floculação ajuda a reduzir na dosagem de produtos químicos (DALSSASSO, 2005).

A floculação pode ser influenciada por vários fatores tais como: concentração do coagulante; pH; alcalinidade; tipo e concentração de íons no meio líquido; heterogeneidade de uma suspensão em relação ao tipo, tamanho e fração de volume de partículas; e o tipo de reator incluindo o grau de mistura e variação na escala e intensidade da turbulência (AYOUB, 1996).

Os flocos formados a partir da coagulação-floculação podem ser separados por processos de decantação, flotação ou filtração.

### **2.5.2 Remoção físico-química de fósforo**

De acordo com Reddy (1998) apud Faria (2006), a remoção do fósforo com produtos químicos é atraente por ser um procedimento simples de operar e fácil de implantar, porém ocorre o acúmulo de lodo e custos de operação. Os produtos químicos como sais de ferro e de alumínio, são bastante usados na remoção do fósforo como coagulantes. A Equação 1 apresenta a reação para remoção química do fósforo utilizando sais de ferro, enquanto que a Equação 2 apresenta a formação dos hidróxidos metálicos pelos fosfatos metálicos precipitados.



Os processos físico-químicos para tratamento de esgotos sanitários podem ser incorporados por flotação de ar dissolvido em vez de sedimentação. Este procedimento estava esquecido, voltando recentemente por ter as seguintes vantagens: maior facilidade de controle operacional, grande resistência a agentes tóxicos e elevada eficiência na remoção de fósforo, de material coloidal e de sólidos suspensos (REALI, 2004).

De acordo com Filho et al (2009) a combinação do tratamento físico-químico com o tratamento biológico para aplicação no tratamento de esgotos sanitários precisa de controle na aplicação da dosagem dos coagulantes químicos, possibilitando uma correta precipitação química do fósforo e uma otimização do coagulante, devendo minimizar as dosagens e estabelecer faixas de operação adequada para o pH da fase líquida. Em síntese é muito importante conhecer as características físico-químicas do efluente que vai ser tratado, bem como conhecer a equipe que opera a estação de tratamento, para que possa ocorrer uma aplicação otimizada nos processos físico-químicos.

De acordo com Faria (2006), a eficiência da remoção do fósforo por precipitação química depende de dois fatores: equilíbrio químico entre as fases sólida e líquida do fósforo e a eficiência do processo de remoção de sólidos.

### 5.5.2.1 Agentes coagulantes

A escolha do coagulante é muito importante para o tratamento físico-químico do efluente industrial. Segundo Nunes (2004), na precipitação química do fósforo são utilizados os coagulantes sulfato de alumínio, cloreto férrico ou cal. A porcentagem de remoção do fósforo chega a 95 % com a combinação de cloreto férrico com cal ou com o coagulante sulfato de alumínio e 50% com o coagulante cloreto férrico sem a mistura do cal.

O Óxido de Cálcio para precipitação química é pouco usado pela difícil manipulação e por produzir grande quantidade de lodo.

Os agentes coagulantes de alumínio e ferro durante a reação formam hidróxidos que fazem a ação coagulante sobre as partículas em suspensão nas diferentes faixas de pH (SENA, 2005). O Quadro 3 mostra as faixas de pH ótimo para os diferentes coagulantes.

O Quadro 3: Faixas de pH ótimo para os diferente coagulantes

<i>Coagulante</i>	<i>Faixa de pH</i>
Sulfato de Alumínio	5,0 a 8,0
Sulfato Ferroso Clorado	> 4,0
Sulfato Ferroso	8,5 a 11,0
Sulfato Férrico	5,0 a 11,0
Cloreto Férrico	5,0 a 11,0

Fonte: PAVANELLI, 2001 apud SENA, 2005.

Os coagulantes de sais de ferro ou sais de alumínio ou cal quando adicionados no efluente ocasionam pelo menos dois processos diferentes que são: coagulação ou desestabilização das partículas coloidais e a precipitação de fosfato solúvel. Para Schoenhals (2006), quando os sais metálicos são usados nos procedimentos de coagulação, consomem alcalinidade e podem diminuir o pH da água residual.

Além dos coagulantes usados ainda pode haver a necessidade do auxílio na floculação-coagulação, dentre eles, os mais usados são os polímeros sintéticos à base de poliacrilamida (PAM catiônica, aniônica ou não-iônica). Para Özacar e Sengil (2003), o tanino é um ótimo auxiliar na coagulação química juntamente com os sais para remoção do fosfato, pois auxiliam no aumento do tamanho dos flocos, como também diminuem o ferro residual e auxiliam na recuperação do fosfato para fertilização.

Os coagulantes inorgânicos como sais de alumínio e ferro, são também usados coagulantes orgânicos com densidade de carga positiva chamados também de polímeros catiônicos, que podem ser natural ou sintético (SCHOENHALS, 2006).

#### **5.5.2.1.1 Cloreto férrico**

Os coagulantes de sais de ferro são bastante usados para tratamento de efluentes de frigoríficos. As reações que ocorrem são de neutralização das cargas e formação de hidróxidos insolúveis de ferro, com faixas de pH entre 5,0 e 11,0. Também são amplamente

usados na flotação de efluentes, pois formam flocos com menor densidade do que os sais de alumínio que possuem maior eficiência no tratamento por decantação. Para o processo de coagulação-floculação, o ferro forma flocos mais rápido, devido à elevada massa atômica do que o alumínio (SENA , 2005).

O cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) como agente coagulador, reduz a cor, a turbidez, a quantidade de sólidos suspensos, a DBO, além de eliminar fosfatos. A Equação (3) refere-se à reação de hidrólise do cloreto férrico, sendo esta a responsável pela formação de hidróxido de ferro, que possui ação coagulante sobre as partículas (SCHOENHALS, 2006).



A utilização do cloreto férrico e cal são altamente viáveis, pois o lodo gerado pode ser colocado no solo, assim corrigindo a acidez do solo (REALI, 2004).

#### 5.5.2.1.2 Sulfato férrico

Segundo Sena (2005) apud Schoenhals (2006), o sulfato férrico está sendo usado no tratamento de efluentes, devido a sua menor corrosividade, redução de custos, visto que são, em média, 30% mais baratos do que o cloreto férrico.

A Equação (4) refere-se à reação de hidrólise do sulfato férrico:



Na adição de qualquer um dos coagulantes férricos, ocorre também reações hidrolítica do hidróxido de ferro, como visto na Equação (5):



### 5.5.2.2 Equilíbrio químico

Segundo Marguti (2008), o ferro quando adicionado em meio aquoso participa da reação de hidrólise, formando espécies polinucleares e mononucleares solúveis. O ferro III ( $\text{Fe}^{3+}$ ) é insolúvel em ambas as formas, como fosfato férrico ou como hidróxidos. A concentração solúvel pode ser pelo fosfato férrico expressa na Equação 6 ou hidróxido metálico expressa na Equação 7.



Na Equação 8 tem-se o somatório do ferro hidrolisado, ou seja, a concentração máxima de ferro solúvel e a Equação 9 são as concentrações molares de ferro na forma de  $\text{Fe}^{+3}$ , que podem ser expressas das seguintes maneiras (MARGUTI, 2008):

$$\text{Fe}_{(s)} = [\text{Fe}^{+3}] + [\text{FeOH}^{+2}] + [\text{Fe}(\text{OH})_2^+] + [\text{Fe}(\text{OH})_3^0] + [\text{Fe}(\text{OH})_4^-] \quad (8)$$

$$\text{Fe}_{(s)} = [\text{Fe}^{+3}] \cdot (1 + K_1 \cdot [\text{OH}^-] + K_2 \cdot [\text{OH}^-]^2 + K_3 \cdot [\text{OH}^-]^3 + K_4 \cdot [(\text{OH}^-)_3]) \quad (9)$$

Se a solubilidade do ferro for controlada pelo fosfato férrico, as concentrações de  $\text{Fe}^{+3}$  podem ser calculadas de acordo com a Equação (10) e se a solubilidade do ferro for controlada pelo hidróxido férrico, as concentrações de  $\text{Fe}^{+3}$  podem ser calculadas de acordo com a Equação (11), tem-se que (MARGUTI, 2008):

$$\text{Fe}_s = \frac{K_{sp1}}{[\text{PO}_4^{-3}]} \cdot (1 + K_1 \cdot [\text{OH}^-] + K_2 \cdot [\text{OH}^-]^2 + K_3 \cdot [\text{OH}^-]^3 + K_4 \cdot [\text{OH}^-]^4) \quad (10)$$

$$\text{Fe}_s = \frac{K_{sp1}}{[\text{OH}^-]^3} \cdot (1 + K_1 \cdot [\text{OH}^-] + K_2 \cdot [\text{OH}^-]^2 + K_3 \cdot [\text{OH}^-]^3 + K_4 \cdot [\text{OH}^-]^4) \quad (11)$$

Sendo a solubilidade do ferro controlada pelo fosfato férrico e considerando o balanço de massa para ambos os elementos ferro e fósforo em meio aquoso, o equilíbrio, pode ser representado pelas equações 12 e 13 (MARGUTI, 2008):

$$\text{Fe}_T = \text{Fe}_s + \text{Fe}_p \quad (12)$$

$$\text{P}_T = \text{P}_s + \text{P}_p \quad (13)$$

$\text{Fe}_T$  e  $\text{P}_T$  = concentração de ferro e fósforo total na fase líquida ( $\text{ML}^{-3}$ )

$\text{Fe}_s$  e  $\text{P}_s$  = concentração de ferro e fósforo solúvel na fase líquida ( $\text{ML}^{-3}$ )

$\text{Fe}_p$  e  $\text{P}_p$  = concentração de ferro e fósforo precipitado na fase líquida ( $\text{mL}^{-3}$ )

A equação 14 representa as concentrações molares de ferro e fósforo precipitado, ou seja, 1 mol de Fe é requerido para a precipitação de 1 mol de P da equação 1.

$$\text{P}_p = \text{Fe}_p \quad (14)$$

No entanto, conhecendo as concentrações totais de ferro ( $\text{Fe}_T$ ) e fósforo ( $\text{P}_T$ ), na fase líquida, restam quatro incógnitas e quatro equações que são:  $\text{Fe}_s$ ,  $\text{P}_s$ ,  $\text{Fe}_p$  e  $\text{P}_p$  (incógnitas) 8, 10, 11 e 12 (equações), no qual permite determinar os diagramas de solubilidade do ferro e fósforo para diferentes condições de pH (MARGUTI, 2008).

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Delimitação do trabalho

Os efluentes foram coletados na saída do sistema de tratamento (entre a lagoa aerada e a lagoa de maturação) de uma indústria avícola da região de Passo Fundo, RS. O efluente foi conservado em bombonas a 4°C, para posterior caracterização e tratamentos físico-químicos.

O efluente foi submetido ao tratamento físico-químico com o uso de equipamento Jar-Test utilizando-se de diferentes coagulantes e concentrações.

A pesquisa foi realizada em três etapas, sendo o efluente submetido a uma caracterização inicial para a quantificação das diferentes formas de fósforo presentes, além das análises de DQO e SST. As três etapas consecutivas da pesquisa foram:

- a) *1ª etapa*: condição de tratamento ideal com diferentes coagulantes e concentrações;
- b) *2ª etapa*: condição de tratamento ideal com a mistura de diferentes coagulantes;
- c) *3ª etapa*: otimização do processo.

Os resultados obtidos foram analisados por métodos estatísticos, a partir do Programa Estatístico Costat, na função Anova Teste Tukey's com intervalo de confiança de 95% e  $p < 0,05$ .

### 3.2 Local da pesquisa

A pesquisa foi realizada nos laboratórios de operação unitária, de aulas práticas e de carnes do prédio L1 (Engenharia de Alimentos) da Universidade de Passo Fundo, Campus I.

### 3.3 Caracterização dos efluentes coletados

Os efluentes coletados na indústria foram caracterizados em termos de Demanda Química de Oxigênio (DQO e DQO Solúvel), Sólidos Suspensos Totais (SST), pH, P-Total, P-Total Solúvel, P-Total Particulado, Ortofosfato, Ortofosfato Solúvel, Ortofosfato Suspenso, Polifosfato, Polifosfato Solúvel, Polifosfato Suspenso, P-Orgânico, P-Orgânico Solúvel, P-Orgânico Suspenso.

As análises foram realizadas em duplicatas, conforme métodos analíticos descritos em APHA et al. (2005).

### 3.4 Tratamento físico-químico por floco-sedimentação

#### 3.4.1 Operação e procedimento Jar-Test

O efluente foi submetido ao tratamento físico-químico de floco-sedimentação aplicado em batelada e em recipiente de 2 L, com o uso de equipamento Jar-Test, aplicando os coagulantes: cloreto férrico, sulfato de alumínio, óxido de cálcio e cloreto de cálcio. Os experimentos foram realizados em duplicatas.

Para todos coagulantes foram utilizados tempos específicos de otimização do processo físico-químico, 115 s com rotação de 120 rpm para mistura rápida e tempo de 10 min com 40 rpm para a etapa de mistura lenta.

O pH foi mantido *in-natura* para os coagulantes cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) e sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ). Para os reagentes óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) e cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) ajustou-se o pH respectivamente em 9 e 10, utilizando-se soluções de hidróxido de sódio concentração 1 mol/L.

### 3.4.2 Primeira etapa da pesquisa

Foi realizado a pesquisa com os coagulantes  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{CaCl}_2$  e com as concentrações de 100mg/L e 300 mg/L, para verificar qual a condição de tratamento ideal.

### 3.4.3 Segunda etapa da pesquisa

Foi realizado a pesquisa com os coagulantes  $\text{FeCl}_3$ , e  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  em concentrações de 100mg/L e 300 mg/L com adição de 60 mg/L de  $\text{CaO}$  a cada um dos coagulantes, totalizando 160 mg/L para a menor concentração e 360 mg/L para a maior concentração. Esta etapa teve por objetivo verificar se a mistura dos coagulantes interfere na remoção das diferentes formas do fósforo, DQO e SST.

### 3.4.4 Terceira etapa da pesquisa

Realizou-se um Planejamento Fatorial Completo  $3^2$ . A ordem dos experimentos foi aleatorizada. Esta etapa foi realizada com os coagulantes  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  e a mistura entre o  $\text{FeCl}_3$  e o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , com as respectivas concentrações: 300 mg/L, 450 mg/L e 600 mg/L. As variáveis de resposta foram a remoção das diferentes formas de fósforo.

A Tabela 3 mostra a matriz de experimentos da PFC  $3^2$ , com as variáveis reais e codificadas.

Tabela 3: Planejamento Fatorial Completo  $3^2$  para otimização.

<i>Experimento</i>	<i>Tipo de coagulante(<math>X_1</math>)</i>	<i>Concentração do coagulante(<math>X_2</math>)</i>
1	(-1) FeCl <sub>3</sub>	(-1) (300 mg/l)
2	(0) FeCl <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	(-1) (300 mg/l)
3	(+1) Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	(-1) (300 mg/l)
4	(-1) FeCl <sub>3</sub>	(0) (450 mg/l)
5	(0) FeCl <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	(0) (450 mg/l)
6	(+1) Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	(0) (450 mg/l)
7	(-1) FeCl <sub>3</sub>	(+1) (600 mg/l)
8	(0) FeCl <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	(+1) (600 mg/l)
9	(+1) Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	(+1) (600 mg/l)
10	(0) FeCl <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	(0) (450 mg/l)
11	(0) FeCl <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	(0) (450 mg/l)
12	(0) FeCl <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	(0) (450 mg/l)

### 3.5 Eficiência na remoção de DQO, SST e P

Após o tratamento físico-químico foi realizado o cálculo da eficiência do mesmo na remoção de DQO, SST e fósforo em suas diferentes formas.

As eficiências das remoções de DQO, SST e fósforo em suas diferentes formas foram calculadas utilizando-se da equação 15.

$$E = \left( 1 - \frac{C_f}{C_i} \right) \times 100 \quad (15)$$

Sendo:

E = Eficiência de remoção (%)

$C_f$  = Concentração final de DQO, SST e fósforo em suas diferentes formas após tratamento físico-químico (mg.L<sup>-1</sup>);

$C_i$  = Concentração inicial de DQO, SST e fósforo em suas diferentes formas antes do tratamento físico-químico (mg.L<sup>-1</sup>);

### **3.6 Determinações analíticas**

#### **3.6.1 Demanda química de oxigênio (DQO)**

A análise de DQO foi realizada por refluxo fechado, através do método colorimétrico, conforme descrito no método 5220 "D" em APHA et al (2005).

#### **3.6.2 Sólidos suspensos totais**

Os sólidos suspensos foram determinados por gravimetria (filtração em fibra de vidro), conforme descrito no método 2540 "B" em APHA et al (2005).

#### **3.6.3 pH**

A análise de pH foi realizada pelo método eletrométrico.

#### **3.6.4 Análise do fósforo**

##### **3.6.4.1 Fósforo total**

A análise de fósforo total foi realizada pelo método de oxidação com o uso de persulfato e após colorimetria, conforme descrito nos métodos 4500-P "B" e 4500-P "E" em APHA et al (2005).

#### **3.6.4.2 Fósforo total solúvel**

Após filtração a amostra foi submetida ao método de oxidação com o uso de persulfato de potássio ( $K_2S_2O_8$ ) e após determinada por colorimetria, conforme descrito nos métodos 4500-P “B” e 4500-P “E” em APHA et al (2005).

#### **3.6.4.3 Fósforo total particulado**

A diferença entre o Fósforo Total e o Fósforo Total Solúvel foi assumida como a concentração do Fósforo Total Particulado, conforme método 4500-P “A”, tabela de análise de frações de fosfatos em APHA et al (2005).

#### **3.6.4.4 Ortofosfato reativo**

A concentração do ortofosfato reativo foi determinada por colorimetria, conforme método 4500-P “E” em APHA et al (2005).

#### **3.6.4.5 Ortofosfato reativo solúvel**

Após filtração a amostra foi determinada por colorimetria, conforme métodos 4500-P “B” e 4500-P “E” em APHA et al (2005).

#### **3.6.4.6 Ortofosfato reativo particulado**

A diferença entre o Ortofosfato Reativo e o Ortofosfato Reativo Solúvel foi assumida como a concentração do Ortofosfato Reativo Particulado, conforme método 4500-P "A", tabela de análise de frações de fosfatos em APHA et al (2005).

#### **3.6.4.7 Polifosfato**

A amostra foi submetida a uma hidrólise ácida e depois teve a concentração determinada pelo método calorimétrico, conforme métodos 4500-P "B" e 4500-P "E" em APHA et al (2005).

#### **3.6.4.8 Polifosfato solúvel**

Após filtração a amostra foi submetida à hidrólise ácida e posterior análise calorimétrico, conforme métodos 4500-P "B" e 4500-P "E" em APHA et al (2005).

#### **3.6.4.9 Polifosfato particulado**

A diferença entre o Polifosfato e o Polifosfato Solúvel foi assumida como a concentração de Polifosfato Particulado, conforme método 4500-P "A", tabela de análise de frações de fosfatos em APHA et al (2005).

#### **3.6.4.10 Fósforo orgânico**

A diferença entre a soma dos Ortofosfatos e Polifosfatos pelo Fósforo Total resultou na quantidade de Fósforo Orgânico presente, conforme método 4500-P "A", tabela de análise de frações de fosfatos em APHA et al (2005).

#### **3.6.4.11 Fósforo orgânico solúvel**

A diferença entre a soma dos Ortofosfatos Reativos Solúveis e Polifosfatos Solúveis pelo Fósforo Total Solúvel resultou na quantidade de Fósforo Orgânico Solúvel presente, conforme método 4500-P "A", tabela de análise de frações de fosfatos em APHA et al (2005).

#### **3.6.4.12 Fósforo orgânico particulado**

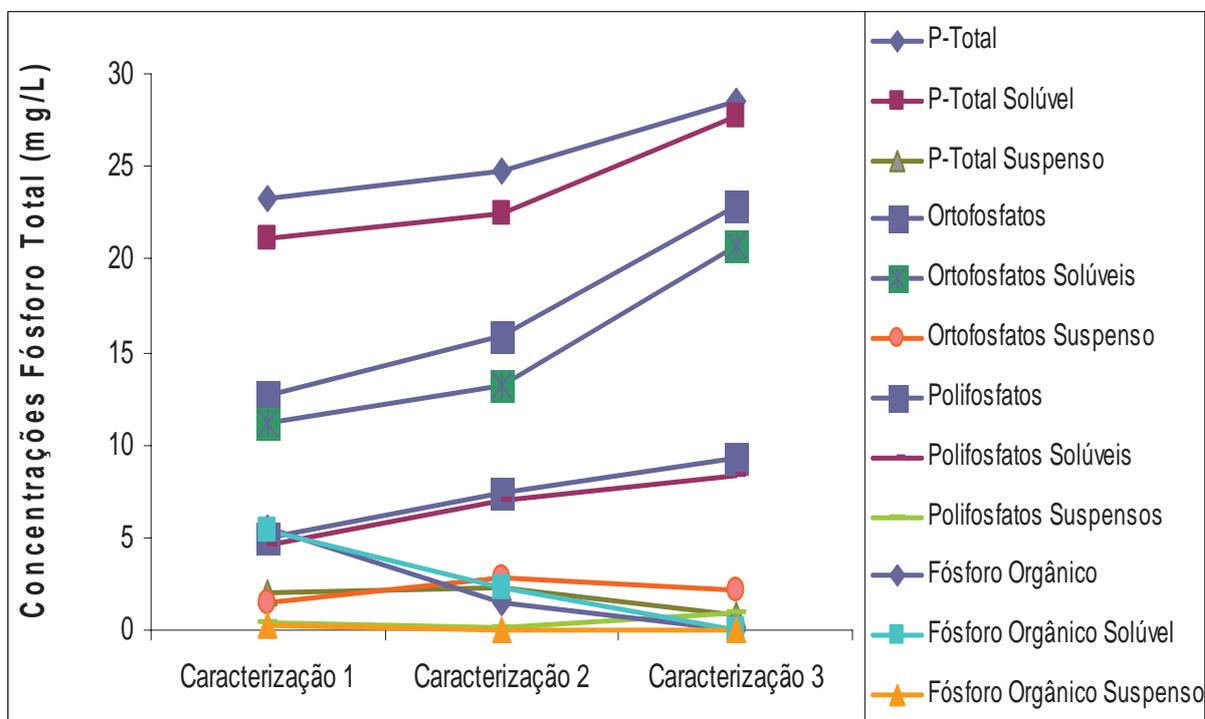
A diferença entre o Fósforo Orgânico e o Fósforo Orgânico Solúvel foi assumida como a concentração de Fósforo Orgânico Particulado, conforme método 4500-P "A", tabela de análise de frações em fosfatos em APHA et al (2005).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização do efluente

A Figura 3 demonstra a caracterização obtida para o efluente em termos das diferentes formas de fósforo, Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, vazão e Sólidos Suspensos Totais (SST).

As coletas de amostras e dados para a caracterização desta pesquisa ocorreram nos meses de junho e julho de 2010.



(a)

Figura 3: Caracterização do efluente tratado de abatedouro avícola: (a) fósforo; (b) SST e DQO; (c) pH (continua na página 39).

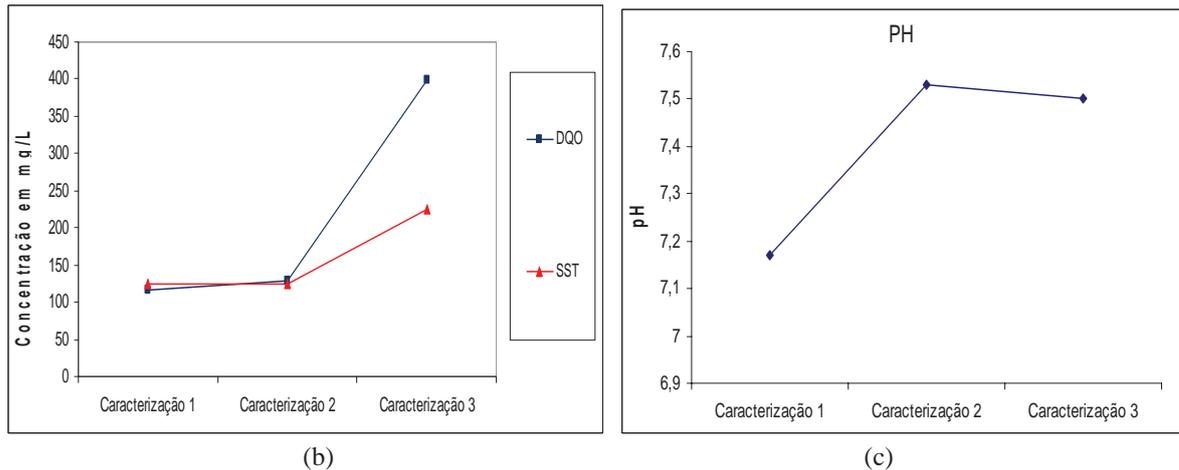


Figura 3: Caracterização do efluente tratado de abatedouro avícola: (a) fósforo; (b) SST e DQO; (c) pH

O fósforo total, fósforo total solúvel e fósforo total suspenso representam todas as formas do fósforo (P) presentes no efluente, sejam elas partículas orgânicas ou inorgânicas. A Figura 3 (a) mostra todas as análises das diferentes formas do fósforo.

A curva gráfica para o fósforo total e fósforo total solúvel mostrou comportamento similar, diferindo apenas em termos de valores de concentração. A análise do fósforo total particulado apresentou menor valor de concentração quando comparados ao fósforo total e o fósforo total solúvel, indicando que a forma particulada está presente em menor concentração no efluente em estudo. A partir dos valores de concentração encontrados para as três formas de fósforo, foi possível observar que a maior parte do fósforo total presente no efluente está na forma solúvel.

A caracterização para o ortofosfato reativo e ortofosfato reativo solúvel mostrou um comportamento similar nas curvas de ambas as análises, porém diferiram em termos de valores de concentrações. O ortofosfato reativo particulado verifica-se valores de concentração menores em comparação ao ortofosfato reativo e ortofosfato reativo solúvel, indicando que a forma particulada desta fração se encontra em menor porcentagem de concentração. A partir dos valores de concentração encontrados para as três formas de fósforo, foi possível observar que a maior parte do ortofosfato reativo presente no efluente está na forma solúvel.

O polifosfato e polifosfato solúvel apresentaram similaridade nas curvas, com diferença apenas em valores de concentração. A partir dos valores de concentração encontrados para as três formas de fósforo, foi possível observar que a maior parte do polifosfato presente no efluente está na forma solúvel e a menor porcentagem encontrada esta na forma particulada.

As análises de fósforo orgânico, fósforo orgânico solúvel e fósforo orgânico particulado não apresentaram detecção nas concentrações para ambas as forma de fósforo orgânico na terceira caracterização, pois as concentrações encontradas foram muito baixa.

Os Sólidos Suspensos Totais na terceira coleta apresentou alterações em relação à DQO, pelo fato da matéria orgânica estar diluída no efluente, o que a conduziu junto ao efluente. O pH variou de 7,2 a 7,5.

## 4.2 Primeira etapa

### 4.2.1 P-total, P-total solúvel e P-total suspenso.

Tabela xx:

Formas de P	Concentração do Coagulante (mg/L)	Cloreto Férrico			Sulfato de Alumínio			Óxido de Cálcio			Cloreto de Cálcio		
		[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E
P-Total	100	19,06	36 <sup>a</sup>		17,72	41 <sup>c</sup>		21,59	28 <sup>e</sup>		20,74	30 <sup>e</sup>	
P-Total	300	6,88	77 <sup>b</sup>		10,31	65 <sup>d</sup>		17,46	41 <sup>c,f</sup>		16,79	44 <sup>f</sup>	
P-Total Solúvel	100	17,69	34 <sup>a</sup>		16,04	40 <sup>a</sup>		19,78	26 <sup>a</sup>		19,15	29 <sup>a</sup>	
P-Total Solúvel	300	5,78	78 <sup>b</sup>		9,45	65 <sup>c</sup>		15,80	41 <sup>a</sup>		15,39	43 <sup>a</sup>	
P-Total Suspenso	100	1,37	50 <sup>a</sup>		1,69	41 <sup>a</sup>		1,81	35 <sup>a</sup>		1,58	43 <sup>a</sup>	
P-Total Suspenso	300	1,10	62 <sup>a</sup>		0,86	70 <sup>a</sup>		1,66	41 <sup>a</sup>		1,31	53 <sup>a</sup>	

E: Estatística. %: Eficiência de remoção em porcentagem. [ ]: Concentração.

A maior eficiência de remoção de fósforo total foi de 77% para o coagulante cloreto férrico na concentração de 300mg/L, enquanto que a menor remoção foi de 28% para 100mg/L de óxido de cálcio como coagulante. A concentração de 300mg/L foi a melhor concentração de coagulante diferindo estatisticamente da concentração de 100mg/L independente do tipo de coagulante. O cloreto férrico apresentou diferença estatística dos demais coagulantes. Segundo Baccarin (2011) o uso do coagulante cloreto férrico em concentração de 250 mg/L para o pós- tratamento de efluente sanitários pode-se obter eficiências de remoções em até 81% para o P-total e sua forma solúvel, para a forma particulada as eficiências máximas obtidas formam inferiores a 68%. Marguti et al. (2008)

descreve ter obtido eficiências em torno de 80% a 90% para o tratamento de efluentes sanitários finais com o uso do cloreto férrico em concentrações que variaram de 80 mg/L a 200 mg/L para o P-total e para a sua forma solúvel.

A concentração final de fósforo total no efluente tratado não atingiu os parâmetros da legislação, segundo parâmetros do CONSEMA (2006) para vazões entre 1000 m<sup>3</sup>/d e 10.000 m<sup>3</sup>/d. Nesta faixa de vazão, o limite para lançamento é de 2 mg/L de P- total.

A análise de remoção para a forma solúvel do fósforo acompanhou o comportamento do fósforo total, exceto para os coagulantes óxido e cloreto de cálcio. Já para a forma suspensa não foi observada diferença significativa entre as condições experimentais.

#### 4.2.2 Ortofosfato total, ortofosfato solúvel e ortofosfato suspenso

Tabela xx:

Formas de P	Concentração do Coagulante (mg/L)	Cloreto Férrico			Sulfato de Alumínio			Óxido de Cálcio			Cloreto de Cálcio		
		[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E
Ortofosfato	100	9,48	39	A	9,55	38	A	11,84	22	E	10,73	30	A
Ortofosfato	300	2,60	83	B	4,08	73	C	8,90	42	C,f	9,19	40	A
Ortofosfato Solúvel	100	8,78	34	A	8,65	34	A	11,09	15	A	0,75	21	A
Ortofosfato Solúvel	300	2,06	84	B	3,72	72	c	8,58	35	a	0,31	34	d
Ortofosfato Suspenso	100	0,71	64	A	0,90	61	A	10,41	68	A	0,32	74	a
Ortofosfato Suspenso	300	0,54	79	a	0,36	85	A	8,62	86	a	0,57	85	a

E: Estatística. %: Eficiência de remoção em porcentagem. [ ]: Concentração.

Analisando a tabela xx pode-se constatar que a concentração de 300 mg/L foi mais eficiente para todos os coagulantes, porém o cloreto férrico teve destaque na remoção em relação aos demais coagulantes, diferindo-se estatisticamente dos demais. A maior eficiência na remoção foi de 83% para o ortofosfato total com o uso do coagulante cloreto férrico 300mg/L e a menor eficiência foi de 22% para oxido de cálcio 100mg/L.

Segundo Baccarin (2011) o uso do coagulante cloreto férrico em concentração de 250 mg/L para o pós- tratamento de efluente sanitários pode-se obter eficiências de remoções de até 75% para o ortofosfato total e sua forma solúvel.

A análise de remoção para a forma solúvel do ortofosfato acompanhou o comportamento do ortofosfato total, exceto para os coagulantes óxido e cloreto de cálcio. Já para a forma suspensa não foi observada diferença significativa entre as condições experimentais, pelo fato desta forma de efluente estar presente em menor quantidade.

#### 4.2.3 Polifosfato total, polifosfato solúvel e polifosfato suspenso

Tabela xx:

Formas de P	Concentração do Coagulante (mg/L)	Cloreto Férrico			Sulfato de Alumínio			Óxido de Cálcio			Cloreto de Cálcio		
		[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E
Polifosfato	100	5,24	41	a	5,37	39	a	5,53	37	a	5,26	40	a
Polifosfato	300	0,54	93	b	0,91	89	c	3,96	55	d	2,24	74	e
Polifosfato Solúvel	100	5,17	39	a	5,24	38	a	5,46	36	a	5,18	39	a
Polifosfato Solúvel	300	0,49	94	b	0,80	90	c	3,82	55	d	2,11	75	e
Polifosfato Suspenso	100	0,07	79	a	0,14	58	a	0,07	55	a	0,08	60	a
Polifosfato Suspenso	300	0,06	82	a	0,11	68	a	0,15	79	a	0,13	70	a

E: Estatística. %: Eficiência de remoção em porcentagem. [ ]: Concentração.

A tabela X mostra que a concentração de 300 mg/L foi mais eficiente para todos os coagulantes com destaque para o cloreto férrico que apresentou maiores remoções. Os coagulantes óxido de cálcio e cloreto de cálcio tiveram menor eficiência. O polifosfato total teve remoções de até 93% com o uso do coagulante cloreto férrico 300 mg/L e 37% para o óxido de cálcio 100 mg/L.

Analisando estatisticamente pode-se observar que os coagulantes cloreto férrico e sulfato e alumínio possuem diferença significativa em relação aos demais, tendo destaque o cloreto férrico por este ter apresentado maiores eficiências. Segundo Baccarin (2011) o uso do coagulante cloreto férrico em concentração de 250 mg/L para o pós- tratamento de efluente sanitários pode-se obter eficiências de remoções de até 93% para o polifosfato total, e 88% para as formas solúveis e particulada.

A análise de remoção para a forma solúvel do polifosfato acompanhou o comportamento do polifosfato total. Já para a forma suspensa não foi observada diferença

significativa entre as condições experimentais, pelo fato desta forma de efluente estar presente em menor quantidade.

#### 4.2.3 P-orgânico, P-orgânico solúvel e P-orgânico suspenso

Tabela xx:

Formas de P	Concentração do Coagulante (mg/L)	Cloreto Férrico			Sulfato de Alumínio			Óxido de Cálcio			Cloreto de Cálcio		
		[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E
P-orgânico	100	4,34	14	a	2,80	53	a	4,22	18	a	4,75	15	a
P-orgânico	300	3,73	23	a	5,33	13	a	4,60	15	a	5,27	15	a
P-orgânico Solúvel	100	3,75	18	a	2,15	58	a	3,22	27	a	3,56	23	a
P-orgânico Solúvel	300	3,24	27	a	4,93	15	a	3,40	22	a	4,66	19	a
P-orgânico Suspenso	100	0,59	0	a	0,65	20	a	1,00	8	a	1,19	0	a
P-orgânico Suspenso	300	0,50	30	a	0,40	19	a	1,20	0	a	0,61	0	a

E: Estatística. %: Eficiência de remoção em porcentagem. [ ]: Concentração.

Os resultados da tabela xx mostram as eficiências para as concentrações de 100 mg/L e 300 mg/L para os coagulantes. É possível observar que para o P-orgânico e suas diferentes formas não houve diferença significativa, o comportamento dos agentes coagulantes estatisticamente foi semelhante.

#### 4.2.4 DQO, DQO solúvel e SST

Tabela xx:

Formas	Concentração do Coagulante (mg/L)	Cloreto Férrico		Sulfato de Alumínio		Óxido de Cálcio		Cloreto de Cálcio	
		[ ] final de P (mg/L)	%	[ ] final de P (mg/L)	%	[ ] final de P (mg/L)	%	[ ] final de P (mg/L)	%
DQO	100	127	41	141	34	162	37	144	33
DQO	300	109	49	109	36	136	36	111	48

DQO Solúvel	100	130	39	135	37	144	33	125	42
DQO Solúvel	300	98	54	100	53	131	39	105	51
SST	100	96	40	100	38	120	26	108	33
SST	300	63	61	71	56	96	40	98	39

E: Estatística. %: Eficiência de remoção em porcentagem. [ ]: Concentração.

Em análise a Tabela XX pode-se observar que para as análises de DQO, DQO na sua forma solúvel e SST, o cloreto férrico teve melhor desempenho para a maioria das análises em comparação aos demais agentes coagulantes para ambas as concentrações em uso. As eficiências de remoções para a análise de DQO variaram de 33% a 49%, para a DQO na sua forma solúvel as eficiências estiveram entre variaram de 33% a 54% e entre 26% e 61% para os SST.

A partir das médias calculadas para todas as concentrações do coagulante, foi possível observar que o maior índice de remoção entre as formas fracionadas foi para a DQO solúvel. Esse fato pode ser explicado pela maior parte da DQO presente no efluente em estudo estar na forma solúvel.

### 4.3 Segunda etapa

#### 4.2.1 P-total, P-total solúvel e P-total suspenso.

A Tabela X mostra que a concentração de 360 mg/L foi mais eficiente para a remoção das diferentes formas de fósforo, independente do tipo de coagulante. A mistura do coagulante cloreto férrico com óxido de cálcio foi mais eficiente para a remoção do P-total e P-total solúvel, porém não houve diferença estatística entre a mistura dos coagulantes (cloreto férrico com óxido de cálcio) e o uso do coagulante sozinho (cloreto férrico). A menor eficiência de remoção foi de 35% com a mistura do coagulante sulfato de alumínio com óxido de cálcio e a maior remoção foi de 78% com a mistura do coagulante cloreto férrico e óxido de cálcio para maior concentração. O P-total na sua forma solúvel teve 32% como a menor remoção para a concentração de 160 mg/L da mistura de coagulantes e 79 % para a maior remoção obtida no tratamento.

Tabela xx:

Formas de P	Concentração do Coagulante (mg/L)	Cloreto Férrico			Cloreto férrico com oxido de cálcio			Sulfato de alumínio			Sulfato de alumínio com oxido de cálcio		
		[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E
		P-Total	160	13,86	37	a	12,31	44	d	13,56	38	a	14,20
P-Total	360	5,22	76	b	4,75	78	b	6,84	69	c	7,62	65	c
P-Total Solúvel	160	12,16	34	a	11,16	39	a,d	11,85	36	a	12,60	32	a
P-Total Solúvel	360	4,65	75	b	3,78	79	b	5,77	68	c	6,77	63	c
P-Total Suspenso	160	1,69	51	a,c	1,16	66	a,c,d	1,70	51	a,c	1,60	53	a,c,d
P-Total Suspenso	360	0,56	84	b,c,d	0,97	72	c,d	1,08	68	a,c,d	0,86	75	c,d

E: Estatística. %: Eficiência de remoção em porcentagem. [ ]: Concentração.

Para a forma suspensa do P-total o coagulante cloreto férrico teve melhor eficiências em relação aos demais. A maior remoção para esta forma foi de 84% para a maior concentração (360 mg/L) e a menor eficiência foi de 51% para a menor concentração utilizada (160 mg/L). A análise estatística mostra semelhanças entre os coagulantes cloreto férrico, cloreto férrico com óxido de cálcio e sulfato de alumínio, para a mistura sulfato de alumínio com óxido de cálcio houve diferença significativa em relação aos demais coagulantes e suas misturas.

Apesar de se atingir uma maior eficiência na remoção do P-total, o efluente final ainda contém uma concentração acima dos parâmetros da legislação, pois segundo o CONSEMA (2006) vazões entre 1000 m<sup>3</sup>/d e 10.000 m<sup>3</sup>/d devam conter no máximo 2 mg/L de P- total para o descarte final. A mistura do coagulante sulfato de alumínio com óxido de cálcio, não obteve melhor eficiência, em relação ao uso do reagente sulfato de alumínio, ou seja, mesmo a concentração sendo maior não houve influência dessa mistura na eficiência de remoção das formas de fósforo.

#### 4.2.2 Ortofosfato total, ortofosfato solúvel e ortofosfato suspenso

Tabela xx:

Formas de P	Concentração do Coagulante (mg/L)	Cloreto Férrico			Cloreto férrico com oxido de cálcio			Sulfato de alumínio			Sulfato de alumínio com oxido de cálcio		
		[ ]	%	E	[ ]	%	E	[ ]	%	E	[ ]	%	E

		final de P (mg/L)			final de P (mg/L)			final de P (mg/L)			final de P (mg/L)		
Ortofosfato	160	5,99	40	a	5,62	44	a	5,92	40	a	6,39	36	e
Ortofosfato	360	2,08	79	b	1,51	85	d	2,67	73	c	3,37	66	f
Ortofosfato Solúvel	160	5,64	37	a	5,23	41	c	5,28	41	a,c	5,85	34	a
Ortofosfato Solúvel	360	1,62	81	b	1,24	86	e	2,26	74	d	3,07	65	f
Ortofosfato Suspensão	160	0,35	54	a	0,39	64	a	0,64	41	a	0,55	46	a
Ortofosfato Suspensão	360	0,34	67	a	0,27	75	a	0,40	63	a	0,30	69	a

E: Estatística. %: Eficiência de remoção em porcentagem. [ ]: Concentração.

A Tabela X mostra que a concentração de 360 mg/L para os agentes coagulantes e suas respectivas misturas teve as maiores remoções para todas as formas de ortofosfatos, independente do tipo de coagulante. A mistura dos coagulantes cloreto férrico com o óxido de cálcio teve as maiores eficiências para as formas totais, solúveis e particuladas dos ortofosfatos para a menor concentração e para a maior concentração desta mistura de agentes coagulante. Para os ortofosfatos nas suas diferentes formas a maior porcentagem de remoção foi de 86% enquanto que o menor índice foi de 34% para todos agentes coagulantes e suas respectivas misturas.

A análise estatística mostra semelhanças estatísticas entre os agentes coagulantes e suas respectivas misturas, porém as eficiências obtidas nesta pesquisa mostram que o agente coagulante cloreto férrico em mistura ao agente coagulante óxido de cálcio teve os maiores índices de eficiências sendo o agente coagulante que melhor removeu as formas diferentes dos ortofosfatos presentes no efluente em estudo.

#### 4.2.3 Polifosfato total, polifosfato solúvel e polifosfato suspensão

Tabela xx:

Formas de P	Concentração do Coagulante (mg/L)	Cloreto Férrico			Cloreto férrico com oxido de cálcio			Sulfato de alumínio			Sulfato de alumínio com oxido de cálcio		
		[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E
Polifosfato	100	4,03	43	a	3,85	46	a	4,69	34	c	4,89	31	c
Polifosfato	300	0,52	92	b,d	0,26	96	b	0,90	87	b,d	1,12	84	d

Polifosfato Solúvel	100	3,46	44	a	3,23	48	a	4,04	34	c	4,23	31	c
Polifosfato Solúvel	300	0,39	93	b	0,18	97	b	0,71	88	b,d	0,85	86	d
Polifosfato Suspenso	100	0,57	37	a	0,62	32	a	0,64	29	a	0,66	27	a
Polifosfato Suspenso	300	0,13	85	b	0,08	91	b	0,19	78	b	0,28	69	b

E: Estatística. %: Eficiência de remoção em porcentagem. [ ]: Concentração.

A Tabela X mostra que a concentração de 360 mg/L para os agentes coagulantes e suas respectivas misturas teve as maiores remoções para todas as formas de polifosfatos. A mistura dos coagulantes cloreto férrico com o óxido de cálcio teve as maiores eficiências para as formas totais, solúveis e particuladas dos polifosfatos para a menor concentração e para a maior concentração desta mistura de agentes coagulante. Para os polifosfatos nas suas diferentes formas a maior porcentagem de remoção foi de 97% enquanto que o menor índice foi de 27% para todos agentes coagulantes e suas respectivas misturas.

A análise estatística mostra semelhanças estatísticas entre os agentes coagulantes e suas respectivas misturas, porém as eficiências obtidas nesta pesquisa mostram que o agente coagulante cloreto férrico em mistura ao agente coagulante óxido de cálcio teve os maiores índices de eficiências sendo o agente coagulante que melhor removeu as diferentes formas dos polifosfatos presentes no efluente em estudo.

#### 4.2.3 P-orgânico, P-orgânico solúvel e P-orgânico suspenso

Tabela xx:

Formas de P	Concentração do Coagulante (mg/L)	Cloreto Férrico			Cloreto férrico com oxido de calcio			Sulfato de alumínio			Sulfato de alumínio com oxido de cálcio		
		[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E	[ ] final de P (mg/L)	%	E
P-orgânico	100	3,84	19		2,92	37		2,95	37		2,92	39	
P-orgânico	300	2,61	44		3,13	37		3,28	29		3,13	33	
P-orgânico Solúvel	100	3,06	12		2,52	23		2,52	19		2,52	22	
P-orgânico Solúvel	300	2,65	16		2,85	23		2,80	21		2,85	18	
P-orgânico Suspenso	100	0,77	43		0,40	86		0,42	75		0,40	69	
P-orgânico Suspenso	300	0,00	94		0,28	56		0,48	67		0,28	78	

E: Estatística. %: Eficiência de remoção em porcentagem. [ ]: Concentração.

A Tabela X mostra que a concentração de 360 mg/L para os agentes coagulantes e suas respectivas misturas teve as maiores remoções para todas as formas de polifosfatos. A mistura dos coagulantes cloreto férrico com o óxido de cálcio teve as maiores eficiências para as formas totais, solúveis e particuladas do P-Orgânico para a menor concentração e para a maior concentração desta mistura de agentes coagulante. Para os P-Orgânico nas suas diferentes formas a maior porcentagem de remoção foi de 94% enquanto que o menor índice foi de 12% para todos agentes coagulantes e suas respectivas misturas.

A análise estatística mostra semelhanças estatísticas entre os agentes coagulantes e suas respectivas misturas, porém as eficiências obtidas nesta pesquisa mostram que o agente coagulante cloreto férrico em mistura ao agente coagulante óxido de cálcio teve os maiores índices de eficiências sendo o agente coagulante que melhor removeu as diferentes formas dos P-Orgânico presentes no efluente em estudo.

Tabela xx:

Formas	Concentração do Coagulante (mg/L)	Cloreto Férrico		Sulfato de Alumínio		Óxido de Cálcio		Cloreto de Cálcio	
		[ ] final de P (mg/L)	%	[ ] final de P (mg/L)	%	[ ] final de P (mg/L)	%	[ ] final de P (mg/L)	%
DQO	100	131	39	112	48	139	36	159	26
DQO	300	89	59	74	66	88	59	139	35
DQO Solúvel	100	112	38	91	59	125	43	143	34
DQO Solúvel	300	75	65	51	77	73	66	129	40
SST	100	143	29	126	38	110	46	135	33
SST	300	104	48	74	63	90	55	116	42

E: Estatística. %: Eficiência de remoção em porcentagem. [ ]: Concentração.

A Tabela X mostra que a concentração de 360 mg/L para os agentes coagulantes e suas respectivas misturas teve as maiores remoções para todas as formas de DQO, DQO solúvel e SST. A mistura dos coagulantes cloreto férrico com o óxido de cálcio teve as maiores eficiências para as formas de DQO, DQO solúvel e SST Orgânico para a menor concentração e para a maior concentração desta mistura de agentes coagulante. Para a DQO, DQO solúvel e SST a maior porcentagem de remoção foi de 77% enquanto que o menor índice foi de 26% para todos agentes coagulantes e suas respectivas misturas.

A análise estatística mostra semelhanças estatísticas entre os agentes coagulantes e suas respectivas misturas, porém as eficiências obtidas nesta pesquisa mostram que o agente coagulante cloreto férrico em mistura ao agente coagulante óxido de cálcio teve os maiores índices de eficiências sendo o agente coagulante que melhor removeu a DQO, DQO solúvel e SST presentes no efluente em estudo.

#### 4.4 Terceira etapa

##### 4.4.1 Otimização P-total, P-total solúvel e P-total suspenso.

A Tabela 13 apresenta a significância para o P-total, P-total solúvel e P-total suspenso.

Tabela 13: Resumo Anova para o P-Total

Formas“P”	Fatores	p
P-Total	Tipo de coagulante (L)	0,02
	Tipo de coagulante (Q)	0,00
	Concentração do coagulante (mg/L) (L)	0,00
	Concentração do coagulante (mg/L) (Q)	0,00
P-Total Solúvel	Tipo de coagulante (L)	0,07
	Tipo de coagulante (Q)	0,00
	Concentração do coagulante (mg/L) (L)	0,00
	Concentração do coagulante (mg/L) (Q)	0,00
P-total Suspenso	Tipo de coagulante (L)	0,84
	Tipo de coagulante (Q)	0,59
	Concentração do coagulante (mg/L) (L)	0,11
	Concentração do coagulante (mg/L) (Q)	0,00

A Tabela 13 mostra que o tipo de coagulante e a concentração do coagulante tiveram influência significativas, ou seja,  $p < 0,10$ , exceto para o P-total suspenso, que apenas o termo quadrático foi significativo. Os resultados mostraram que a mistura dos coagulantes causou influência positiva na maioria das condições experimentais.

A Figura 12 apresenta a superfície de resposta para remoção de P-total (a), P-total solúvel (b) e P-total suspenso (c).

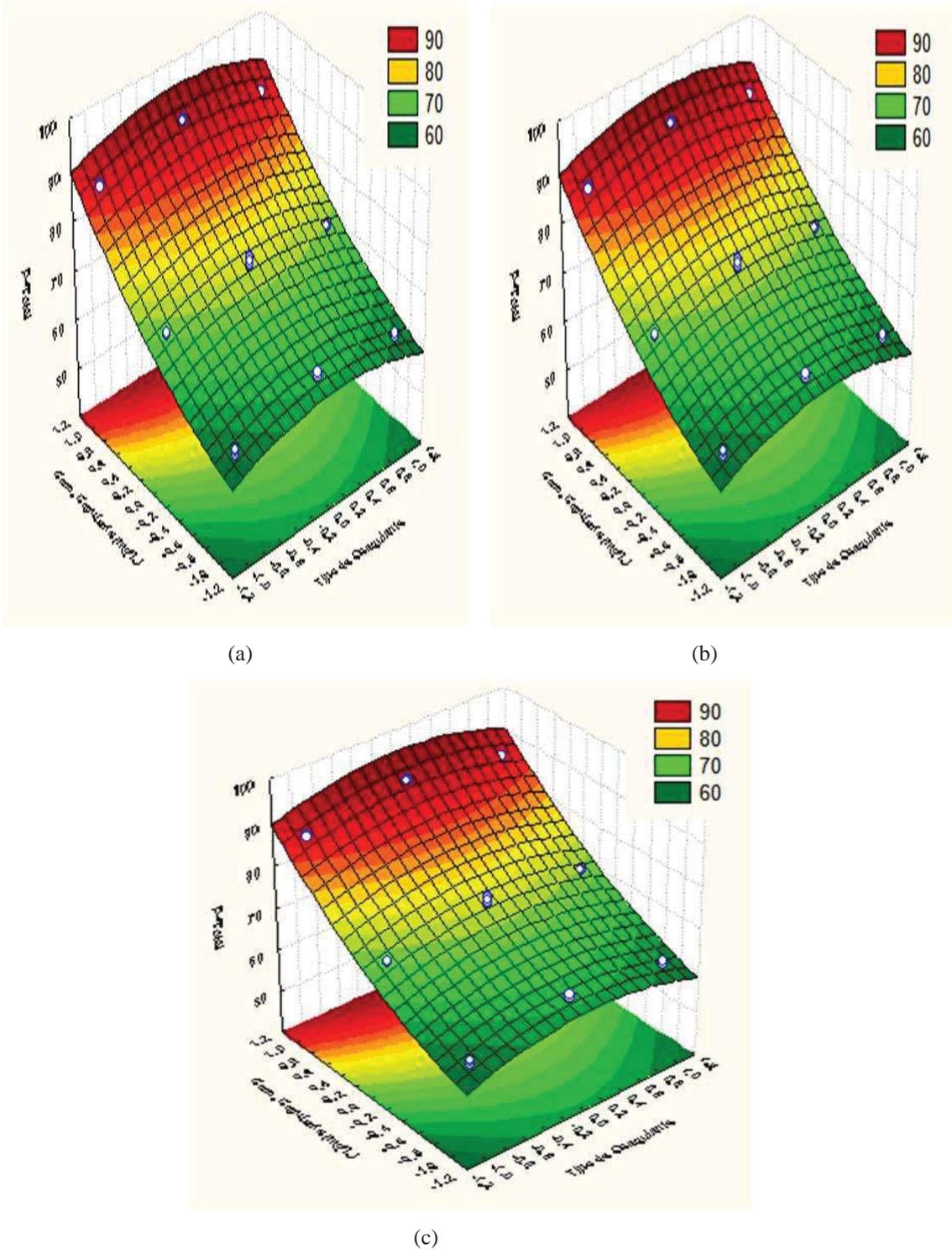


Figura 12: Superfície de resposta para remoção de: (a) P-total, (b) P-total solúvel (c) P-total suspenso.

A Figura 12 (a, b) indica que quanto maior a concentração do coagulante (600 mg/L) maior foi a eficiência para a remoção do fósforo total e fósforo total solúvel, chegando a 90%. Já para o fósforo total suspenso, nenhuma condição experimental influenciou significativamente a remoção.

#### 4.4.2 Otimização Ortofosfato Total, Ortofosfato solúvel e Ortofosfato suspenso.

A Tabela 14 apresenta a significância para o ortofosfato, ortofosfato solúvel e ortofosfato suspenso.

Tabela 14: Resumo Anova para os Ortofosfatos

Formas“P”	Fatores	p
Ortofosfatos	Tipo de coagulante (L)	0,05
	Tipo de coagulante (Q)	0,00
	Concentração do coagulante (mg/L) (L)	0,00
	Concentração do coagulante (mg/L) (Q)	0,00
Ortofosfatos Solúveis	Tipo de coagulante (L)	0,07
	Tipo de coagulante (Q)	0,00
	Concentração do coagulante (mg/L) (L)	0,00
	Concentração do coagulante (mg/L) (Q)	0,00
Ortofosfatos Suspensos	Tipo de coagulante (L)	0,96
	Tipo de coagulante (Q)	0,64
	Concentração do coagulante (mg/L) (L)	0,07
	Concentração do coagulante (mg/L) (Q)	0,00

A Tabela 14 mostra que o tipo e a concentração do coagulante influenciaram de forma significativa a remoção das diferentes formas do ortofosfato ( $p < 0,10$ ), exceto para o ortofosfato suspenso. Isto indica que os coagulantes têm mecanismos de remoção diferentes apenas para a forma solúvel. A remoção do ortofosfato suspenso é aumentada de forma significativa com a concentração do coagulante, indicando que a remoção desta forma de fósforo é realizada em função da remoção de sólidos suspensos, não diferindo significativamente em relação ao tipo e a concentração do coagulante. Cabe salientar que a faixa de remoção desta forma de fósforo é similar a demais formas.

A Figura 14 apresenta a superfície de resposta para remoção de ortofosfato (a), ortofosfato solúvel (b) e ortofosfato suspenso (c).

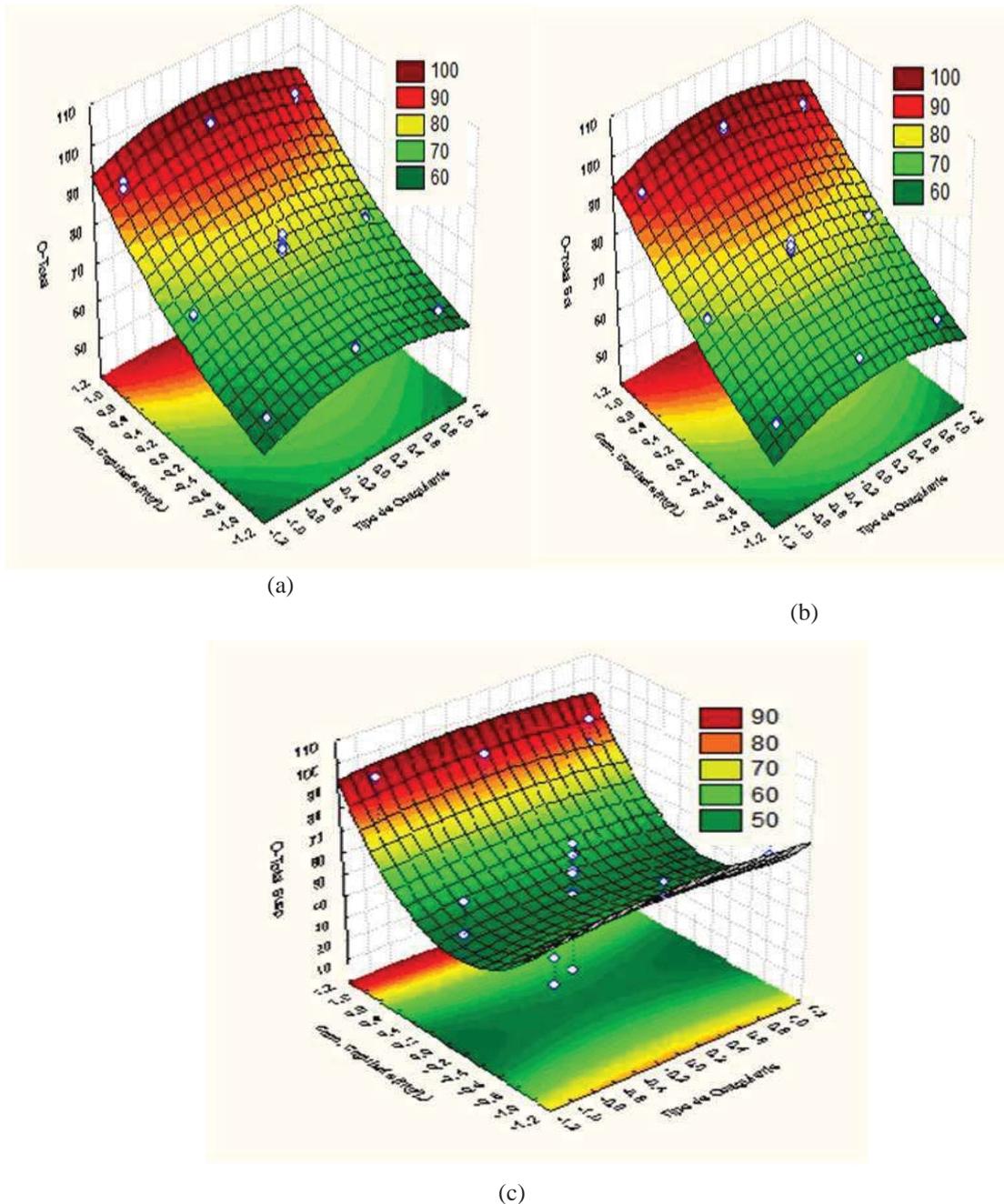


Figura 13: Superfície de resposta para remoção: (a) ortofosfato, (b) ortofosfato solúvel (c) ortofosfato suspenso.

A Figura 13 (a, b) mostra que quanto maior a concentração do coagulante (600 mg/L) melhor é a remoção do Ortofosfato total e solúvel. Este comportamento foi similar a remoção do fósforo total e solúvel. A remoção do Ortofosfato e ortofosfato solúvel foi maior no ponto central, com a mistura dos coagulantes ( $\text{FeCl}_3$  e  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), chegando a 100%. Os pontos axiais (-1 e +1) não tiveram diferença significativa, tendo uma remoção de 90% para os coagulantes  $\text{FeCl}_3$  e  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , ou seja não sendo influenciado pelas diferentes concentrações dos coagulantes. Já para o ortofosfato suspenso, nenhuma condição experimental influenciou significativamente na remoção.

#### 4.4.3 Otimização Polifosfato Total, Polifosfato solúvel e Polifosfato suspenso.

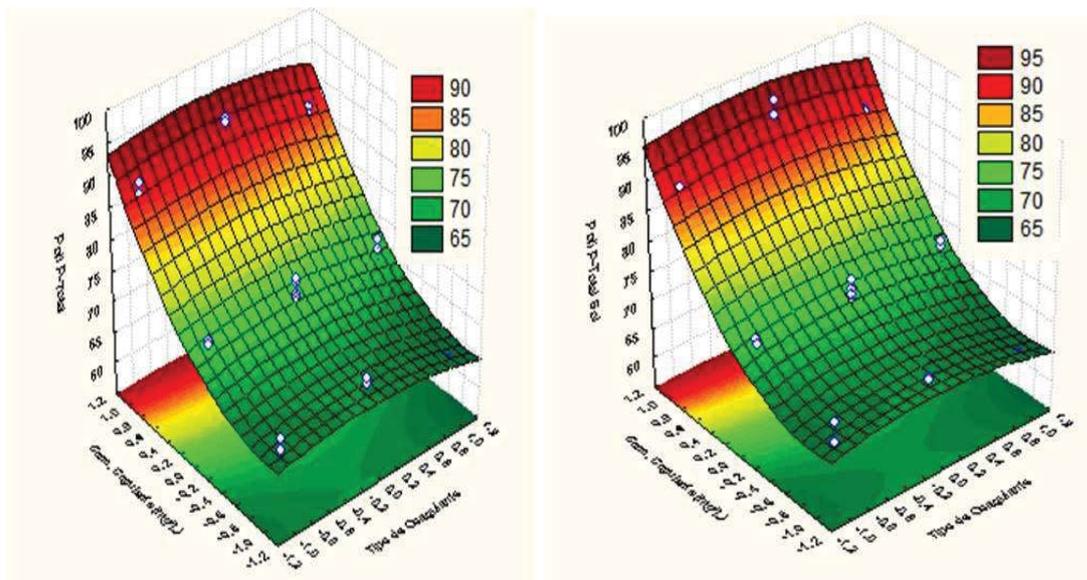
A Tabela 15 apresenta a significância para o polifosfato, polifosfato solúvel e polifosfato suspenso.

Tabela 15: Resumo Anova para os Polifosfatos

Formas“P”	Fatores	p
Polifosfatos	Tipo de coagulante (L)	0,14
	Tipo de coagulante (Q)	0,04
	Concentração do coagulante (mg/L) (L)	0,00
	Concentração do coagulante (mg/L) (Q)	0,00
Polifosfatos Solúveis	Tipo de coagulante (L)	0,28
	Tipo de coagulante (Q)	0,05
	Concentração do coagulante (mg/L) (L)	0,00
	Concentração do coagulante (mg/L) (Q)	0,00
Polifosfatos Suspensos	Tipo de coagulante (L)	0,46
	Tipo de coagulante (Q)	0,91
	Concentração do coagulante (mg/L) (L)	0,56
	Concentração do coagulante (mg/L) (Q)	0,06

A Tabela 15 mostra que apenas a concentração do coagulante influenciou significativamente ( $p < 0,10$ ) na remoção das diferentes formas do polifosfato, exceto para o polifosfato suspenso, onde nenhuma condição experimental influenciou significativamente.

A Figura 14 apresenta a superfície de resposta para remoção de polifosfato (a), polifosfato solúvel (b) e polifosfato suspenso (c).



(a)

(b)

A figura 14 continua na página 73.

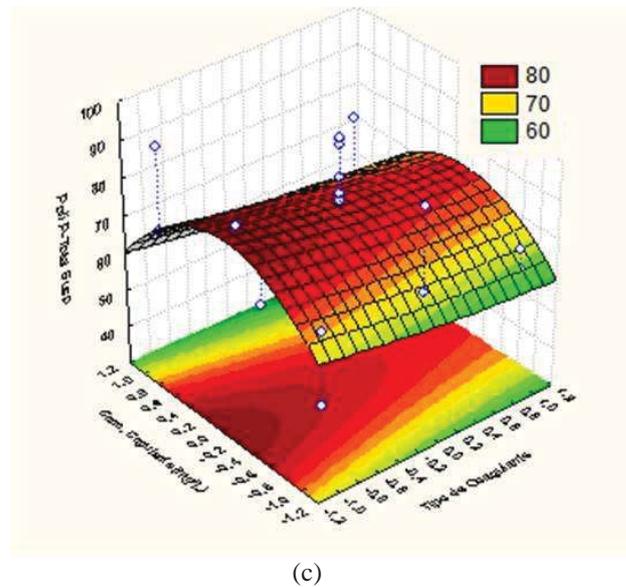


Figura 14: Superfície de resposta para remoção: (a) polifosfato, (b) polifosfato solúvel (c) polifosfato suspenso.

A Figura 14 (a, b) mostra que quanto maior a concentração do coagulante (600 mg/L) melhor é a remoção do Polifosfato e Polifosfato solúvel. A remoção do Polifosfato e Polifosfato solúvel não teve diferença do ponto central (0) e dos pontos axiais (-1 e +1), tendo uma remoção de 90% para o polifosfato e 95% para o polifosfato solúvel, não sendo influenciado pelas diferentes tipos de coagulantes e concentrações.

A Figura 14 (c) pode-se observar que os tipos de coagulantes e concentrações do coagulante não foram significativos na remoção de polifosfato suspenso.

#### 4.4.4 Otimização P-orgânico Total, P-orgânico solúvel e P-orgânico suspenso.

A Tabela 16 apresenta a significância para o P-orgânico, P-orgânico solúvel e P-orgânico suspenso.

Tabela 16: Resumo Anova para o P-Orgânico

Formas "P"	Fatores	p
P-Orgânico	Tipo de coagulante (L)	0,22
	Tipo de coagulante (Q)	0,23
	Concentração do coagulante (mg/L) (L)	0,00
	Concentração do coagulante (mg/L) (Q)	0,08
P-Orgânico Solúvel	Tipo de coagulante (L)	0,22
	Tipo de coagulante (Q)	0,03
	Concentração do coagulante (mg/L) (L)	0,00

P-Orgânico Suspenso	Concentração docoagulante (mg/L) (Q)	0,01
	Tipo de coagulante (L)	0,95
	Tipo de coagulante (Q)	0,40
	Concentração do coagulante (mg/L) (L)	0,58
	Concentração do coagulante (mg/L) (Q)	0,38

A Tabela 16 mostra que, assim como nos polifosfatos, apenas a concentração do coagulante influenciou significativamente ( $p < 0,10$ ) na remoção do fósforo orgânico total e solúvel. Para a remoção do fósforo orgânico suspenso não houve diferença significativa para as condições experimentais estudadas, indicando relação com a remoção dos sólidos suspensos, como observado nas diferentes formas de fósforo estudadas.

A Figura 15 apresenta a superfície de resposta para remoção do P-orgânico (a), P-orgânico solúvel (b) e P-orgânico suspenso (c).

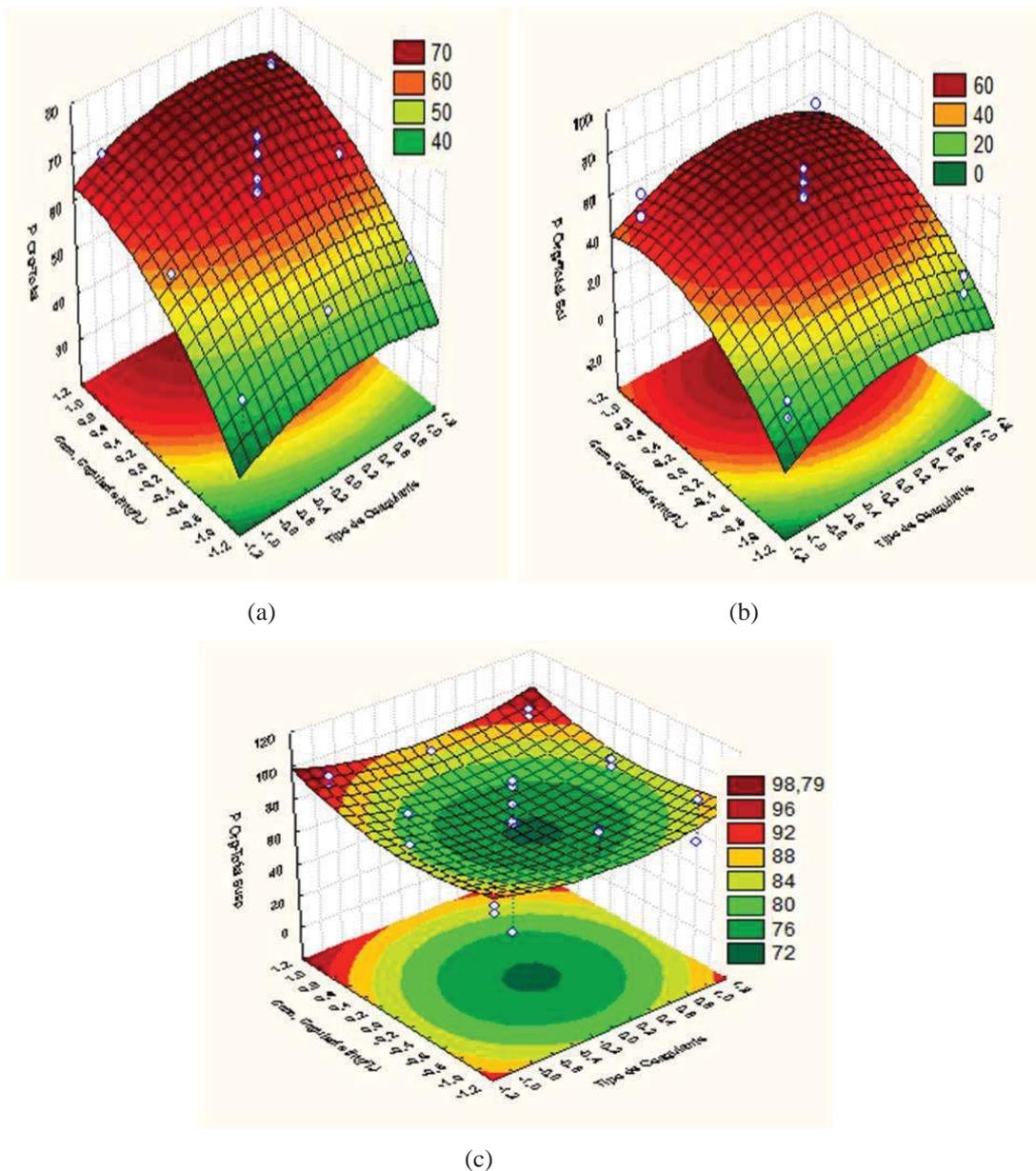


Figura 15: Superfície de resposta para remoção: (a) P-orgânico, (b) P-orgânico solúvel (c) P-orgânico suspenso.

A Figura 15 (a,b) observa-se mostra que quanto maior a concentração do coagulante, melhor seria a remoção do fósforo orgânico total e solúvel. Isto indica que os coagulantes, independente do tipo, são eficientes para a remoção destas formas de fósforo.

A partir da análise estatística da otimização foi possível observar que quanto maior a concentração do coagulante maior será a eficiência de remoção das diferentes formas de fósforo presentes no efluente. Não foram observadas grandes diferenças significativas entre os coagulantes.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi comprovado que o maior índice de fósforo presente no efluente em estudo foi o ortofosfato e o menor índice encontrado foi na forma de fósforo orgânico. Como também a forma solúvel teve predominância em relação a forma particulada do fósforo.

Na primeira etapa de estudo observou-se que os coagulantes cloreto férrico e sulfato de alumínio tiveram maior eficiência para a remoção dos diferentes formas do fósforo em relação aos coagulantes óxido de cálcio e cloreto de cálcio.

Na segunda etapa do trabalho foi observado que a mistura do coagulante cloreto férrico e óxido de cálcio foi mais eficiente em relação ao coagulante cloreto férrico, porém a diferenças não foi significativa já que a mistura dos coagulantes possuía uma concentração maior. A mistura do coagulante sulfato de alumínio e óxido de cálcio não foi eficiente em relação ao uso do coagulante sulfato de alumínio, na literatura pesquisada não há relatos da mistura do coagulante sulfato de alumínio ao óxido de cálcio.

Na terceira etapa de trabalho foi observado que a concentração de 600mg/L foi a mais eficiente para a maior parte das remoções entre as diferentes formas do fósforo, e que os tipos de coagulantes não influenciaram significativamente na remoção.

Os coagulantes óxido de cálcio e cloreto de cálcio não devem ser utilizados nas mesmas concentrações apresentadas nesta pesquisa, uma vez que essas concentrações apresentaram baixa eficiência. Além do inconveniente ajuste de pH do efluente, antes e após o pós-tratamento físico-químico aplicado. Para os coagulantes cloreto férrico e sulfato de alumínio é recomendando o uso, visto que foram mais eficiente na remoção das diferentes forma do fósforo. Porém como os parâmetros da legislação para o P-total não foram atingidos é recomendado o uso destes reagentes em maiores concentrações para melhores eficiências.

## **RECOMENDAÇÕES TRABALHOS FUTUROS**

- Avaliar outros sistemas de tratamento de efluente e aplicar o processo físico-químico;
- Usar outros tipos de coagulantes;
- Usar novas dosagens de coagulantes;
- Usar outros tempos para flocosedimentação;
- Avaliar os valores de pKa dos coagulantes;

## **REFERÊNCIAS**

ABEF. Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frangos. Disponível em : <http://www.abef.com.br>. Acesso em 25 de out. de 2009.

AYOUB, G. M. A. (1996). A model for flocculation in a gravel reactor: development and assessment. *J. Water SRT –Aqua*. V. 45, n.2, p. 76-83.

BACCARIN, L. I. P. Pós-tratamento de efluente sanitário para remoção de fósforo. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo – RS, 2011.

BRASIL, Lei 9433 de 08 de Janeiro de 1997, Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/blei19979433.pdf>. Acesso em: 3 de nov. de 2009.

CARDOSO, M. Efeito do tipo de coagulante na produção de lodo de estação de tratamento de água. Florianópolis–SC UFSC. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental) Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PGEA0138.pdf>> Acesso em: 10 out. 2009.

CHUNJUAN, L. et. Al. Removal of phosphate from secondary effluent with Fe<sup>2+</sup> enhanced by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> at nature pH/neutral pH. 2009. Journal of Hazardous Materials 166 (2009) 891–896.

CLARK.T. et.al Phosphorus Removal By Chemical Precipitation In a Biological Aerted Filter. 1997. War. Res. Vol. 31, n<sup>o</sup>. 10, p. 2557-2563.

CONSEMA – CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Consema n<sup>o</sup> 128/2006. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/pdf/Resolucao128Efluentes.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2009.

DALSSASSO. R. L. Estudos de Diferentes Materiais para Floculação em Meio Granular, Precedendo a Filtração Rápida Descendente no Tratamento de Água para Abastecimento. Florianópolis–SC UFSC. Tese (doutorado em Engenharia Ambiental) Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. Disponível <http://www.tede.ufsc.br/teses/PGEA0232.pdf> Acesso em: 21 out . 2009.

EPA –Thecnology Transfer Seminar Publication (1973). Waste treatment upgrading poultry – processing facilities to reduce pollution. Washington.

FARIA, O.L.V. Remoção de fósforo de efluentes da parbolização de arroz por absorção biológica estimulada em reator em batelada sequencial (RBS) associada à precipitação química. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial). Universidade Federal de Pelotas, 2006.

FERNANDES, G.W. Avaliação de Processos para Remoção Química de Fósforo de Efluente de Suinocultura. Dissertação d Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, 2008. Disponível: [http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde\\_arquivos/6/TDE-2008-04-29T152447Z-1491/Publico/GABRIELAFERNANDES.pdf](http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_arquivos/6/TDE-2008-04-29T152447Z-1491/Publico/GABRIELAFERNANDES.pdf). Acesso em: 10 jan. 2010.

FILHO, S. S.F. et. al. Produção de Lodo e Comportamento Químico de Sais de Ferro empregados no Pós-Tratamento de esgoto Sanitário Por Precipitação Química. EPUSP. 2009. Engenharia Sanitária Ambiental, v.14 n°1, jan-mar 2009, 49-58.

FIGUEIREDO, M.C.B. et.al. Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Reservatório Ambiental.2007. Revista Engenharia Sanitária Ambiental. Vol. 12- n° 4- out-dez 2007, 399-409.

HÜBNER, R. Análise do Uso da Água em Abatedouro de Aves. Florianópolis-SC.UFSC. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental) Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

IBGE- Instituto Brasileiro de geografia e Estatística. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home>. Acesso em 30 de out.de 2009.

JUNIOR. J. F. MENDES. O. Gerenciamento de Efluentes de Abatedouro Avícolas. Estudo de Caso (Super Frango ). Universidade Católica de Goiás.2006. Disponível: <http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/GERENCIAMENTO%20DE%20EFLUENTES%20DE%20ABATEDOUROS%20AV%C3%8DCOLAS%20-%20ESTUDO%20DE%20CASO%20SUPER%20FRANGO.pdf>. Acesso em: 21 out . 2009.

MARAIS, G. Observation supporting phosphate removal by biological excess uptake: a review. *Water Science & Technology*, v. 15, p. 15-41, 1983.

MARGUTTI, A. L. et.al. Otimização de Processos físico-químicos na Remoção de Fósforo de Esgotos Sanitários por Processos de Precipitação Química com Cloreto Férrico. 2008. Revista Engenharia Sanitária Ambiental. Vol. 13- n° 4- out-dez 2008, 395-404.

MARQUES, V. et. al. Caracterização e Avaliação da Eficiência do Tratamento de efluentes de abatedouro Avícola na Região do Semi-Arido. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2007 . Disponível: <http://www.saneamento.polis.ufrj.br/documentos/24CBES/II-424.pdf>. Acesso em: 15 out. 2009.

MULKERRINS, D.; DOBSON, A.D.W.; COLLERAN, E. Parameters affecting biological phosphate removal from wastewater. *Environment International*, v. 30, p. 249-259, 2004

NARDI, I. R. et.al. Análises de Series Temporais na Operação de Sistemas de Tratamento de Águas Residuárias de Abatedouro de Frango. 2005. Revista Engenharia Sanitária Ambiental. Vol. 10- n° 4- out-dez 2005, 339-346.

NETTO, J. M.A. Técnicas de abastecimento e tratamento de água. Vol.2: CETESB, São Paulo. 1991

NUNES, J. A. Tratamento físico-químico de águas residuárias Industriais 3. ed. Capítulos 1,2 e 3, Aracaju, SE. Editora: Triunfo Ltda, 2001.

NUNES, J.A. Tratamento físico-químico de Águas Residuárias Industriais. 4 ed. Aracaju. Editora J. Andrade Ltda, 2004.

ÖZACAR, M., AYHAN SENGIL, I., 2003. Enhancing phosphate removal from wastewater by using polyelectrolytes and clay injection. J. Hazard.Mater. 100, 131–146.

PEREIRA, E.B. Tratamento enzimático para Remoção de Gorduras dos Resíduos Gerados por Industrias de produtos Avícola. Florianópolis–SC UFSC. Dissertação (mestrado em Engenharia Química) Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. Definível: <http://tede.ufsc.br/teses/PENQ0127.pdf> Acesso em: 10 out. 2009.

REALI, M. A. P. Processos físico-químico Associados a Processos Biológicos para tratamentos de esgotos Sanitários. Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos. Anais do I Simpósio da Engenharia Ambiental Universidade de São Paulo. 2004 Disponível em:< [http://www.eesc.usp.br/seasea2004/arquivos/Anais\\_-\\_SEA-2004.pdf](http://www.eesc.usp.br/seasea2004/arquivos/Anais_-_SEA-2004.pdf)> Acesso em: 10 out. 2009.

RIBEIRO, D.F. Influencia do manejo de pré-abate e das operações de abate na qualidade e rendimento das carcaças. Revista Nacional da Carne.1995. São Paulo, v. 19 (223), p. 38-46.

SANTINI,G.; MEIRELLES, H. Relatório Setorial de Carnes. FINEP, 2004.

SCHOENHALS, M. Avaliação da eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluentes de abatedouro avícola. Florianópolis–SC UFSC. Dissertação (mestrado em Engenharia Química) Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. Disponível em:< <http://www2.enq.ufsc.br/teses/m152.pdf>> Acesso em: 10 out. 2009.

SENA, R. F. Tratamento de efluentes da indústria de processamento de carne utilizando flotação e processos de oxidação avançada. Dissertação de Doutorado Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2009 Disponível em [www.tede.ufsc.br/teses/PENQ0275-T.pdf](http://www.tede.ufsc.br/teses/PENQ0275-T.pdf) Acesso em: 10 out. 2009.

SILVA, H. L. B. Uso de Membranas Microporosas no Tratamento de Efluentes de um Frigorífico de Abate de Aves. Florianópolis–SC UFSC. Dissertação (mestrado em Engenharia Alimentos) Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. Disponível em:< <http://www.tede.ufsc.br/teses/PEAL0054.pdf>. Acesso em: 10 out. 2009.

VENTURINI, K.S. et. al. Características da Carne de Frango. Universidade federal de Espírito Santo-UFES. 2007. Disponível em;<  
[http://www.agais.comtelomcb01307\\_caracteristicas\\_carnefrango.pdf](http://www.agais.comtelomcb01307_caracteristicas_carnefrango.pdf). Acesso em 15 de nov. de 2009.

VON SPERLING, M. Introdução a Qualidade de Água e ao Tratamento de Esgotos Princípio do Tratamento Biológico de Aguas Residuárias. 3 ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2006.

WANG, Y. et. al. Optimization of phosphorus removal from secondary effluent using simplex method in Tianjin, China. 2005. Journal of Hazardous Materials B121 (2005) 183–186

## ANEXOS

## ANEXO A: Análise estatística descritiva Primeira Etapa

Tabela 4 - Análise Descritiva para P-Total, P-Total Solúvel e P-Total Suspenso.

Fatores		Análises											
		P-Total				P-Total Solúvel				P-Total Suspenso			
Reagente	Concentração	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação
FeCl <sub>3</sub>	100	19,06	0,44	0,20	2,64	17,69	0,18	0,03	1,15	1,37	0,63	0,40	51,71
FeCl <sub>3</sub>	300	6,88	0,70	0,49	11,48	5,78	0,75	0,56	14,6	1,10	0,05	0,002	4,97
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	100	17,72	0,81	0,66	5,14	16,04	0,73	0,53	5,09	1,69	0,08	0,01	5,65
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	300	10,31	0,49	0,24	5,41	9,45	0,48	0,23	5,77	0,86	0,012	1,46	1,57
CaO	100	21,59	0,66	0,44	3,47	19,78	0,16	0,03	0,89	1,81	0,51	0,26	31,52
CaO	300	17,46	1,16	1,35	7,49	15,80	0,78	0,60	5,52	1,66	0,39	0,15	26,24
CaCl <sub>2</sub>	100	20,74	1,05	1,11	5,71	19,15	0,31	0,10	1,84	1,58	0,73	0,54	52,46
CaCl <sub>2</sub>	300	16,70	0,28	0,10	1,87	15,39	0,19	0,04	1,42	1,31	0,47	0,22	40,55

Tabela 5 - Análise Descritiva para Ortofosfato, Ortofosfato Solúvel e Ortofosfato Suspenso

Fatores		Análises											
		Ortofosfato				Ortofosfato Solúvel				Ortofosfato Suspenso			
Reagente	Concentração	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação
FeCl <sub>3</sub>	100	9,48	2,03	4,12	24,11	8,78	2,17	4,74	27,93	0,71	0,14	0,02	23,39
FeCl <sub>3</sub>	300	2,60	0,57	0,33	25,05	2,06	0,07	0,005	4,01	0,54	0,65	0,42	134,85
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	100	9,55	1,29	1,66	15,21	8,65	0,63	0,41	8,29	0,90	0,65	0,43	81,85
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	300	4,08	1,15	1,32	31,79	3,72	0,81	0,65	24,42	0,36	0,34	0,11	108,37
CaO	100	11,84	0,94	0,88	8,92	11,09	0,28	0,08	2,83	0,75	0,66	0,43	99,44
CaO	300	8,90	0,97	0,94	12,25	8,58	0,85	0,72	11,15	0,31	0,12	0,01	42,43
CaCl <sub>2</sub>	100	10,73	0,92	0,84	9,62	10,41	0,79	0,63	8,56	0,32	0,12	0,02	44,34
CaCl <sub>2</sub>	300	9,19	1,04	1,08	12,76	8,62	0,89	0,79	11,58	0,57	0,15	0,02	30,65

Tabela 6 - Análise Descritiva para Polifosfato, Polifosfato Solúvel e Polifosfato Suspenso.

Fatores		Análises											
Reagente	Concentração	Polifosfato				Polifosfato Solúvel				Polifosfato Suspenso			
		Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação
FeCl <sub>3</sub>	100	5,24	0,50	0,25	10,82	5,17	0,57	0,32	12,32	0,07	0,06	0,00	99,44
FeCl <sub>3</sub>	300	0,54	0,25	0,06	52,27	0,49	0,24	0,06	57,45	0,06	0,00	0,00	6,36
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	100	5,37	0,57	0,33	11,99	5,24	0,51	0,26	10,96	0,14	0,06	0,00	51,32
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	300	0,91	0,23	0,05	28,47	0,80	0,18	0,04	26,62	0,11	0,04	0,00	42,21
CaO	100	5,53	0,44	0,20	9,05	5,46	0,43	0,18	8,97	0,07	0,01	0,00	14,46
CaO	300	3,96	0,27	0,07	7,68	5,46	0,25	0,06	7,43	0,15	0,02	0,00	14,46
CaCl <sub>2</sub>	100	5,26	0,28	0,07	5,99	5,18	0,19	0,04	4,19	0,08	0,09	0,01	123,74
CaCl <sub>2</sub>	300	9,19	1,04	1,08	12,76	8,62	0,89	0,79	11,58	0,57	0,15	0,02	30,65

Tabela 7- Análise Descritiva para P-Orgânico, P-Orgânico Solúvel e P-Orgânico Suspenso

Fatores		Análises											
Reagente	Concentração	P-Orgânico				P-Orgânico Solúvel				P-Orgânico Suspenso			
		Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação
FeCl <sub>3</sub>	100	4,34	2,98	8,90	77,37	3,75	2,56	6,57	77,00	0,59	0,42	0,17	79,69
FeCl <sub>3</sub>	300	3,73	1,52	2,35	46,21	3,24	0,93	0,86	32,18	0,50	0,61	0,37	137,82
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	100	2,80	2,67	7,15	107,31	2,15	1,87	3,51	98,03	0,65	0,8	0,64	137,91
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	300	5,33	1,88	3,52	39,68	4,93	1,48	2,19	33,82	0,40	0,39	0,16	112,09
CaO	100	4,22	2,05	4,20	54,65	3,22	0,87	0,76	30,41	1,00	1,18	1,39	133,18
CaO	300	4,60	2,40	5,76	58,69	3,40	1,88	3,53	62,16	1,20	0,52	0,27	48,90
CaCl <sub>2</sub>	100	4,75	2,25	5,06	53,30	3,56	1,29	1,68	41,06	1,19	0,95	0,90	89,99
CaCl <sub>2</sub>	300	5,27	1,41	1,99	30,16	4,66	0,76	0,58	18,49	0,61	0,65	0,42	118,64

Tabela 8 - Análise Descritiva para DQO, DQO Solúvel e SST.

Fatores		Análises											
Reagente	Concentração	DQO				DQO Solúvel				SST			
		Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação
FeCl <sub>3</sub>	100	126,81	20,57	423,27	18,25	130,00	19,80	392,00	17,13	96,50	10,61	112,50	12,36
FeCl <sub>3</sub>	300	108,80	16,65	277,38	17,22	97,50	24,75	612,5	28,56	63,00	2,83	8	5,05
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	100	140,66	20,57	423,27	16,45	135,00	18,38	338,00	15,32	99,50	2,12	4,50	2,39
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	300	109,49	27,43	752,48	28,18	99,50	23,33	544,50	26,38	71,00	5,66	32,00	8,96
CaO	100	161,56	24,66	608,01	17,17	143,50	20,51	420,50	16,08	120,00	8,48	72,00	7,95
CaO	300	135,82	0,79	95,98	8,11	130,50	7,77	60,50	6,70	96,00	9,89	98,00	11,60
CaCl <sub>2</sub>	100	144,13	27,43	752,48	21,41	125,00	29,69	882,00	26,73	108,00	1,41	2,00	1,47
CaCl <sub>2</sub>	300	110,88	19,59	383,92	19,88	105,00	15,55	242,00	16,67	98,00	8,48	72,00	9,74

## ANEXO B: Análise estatística descritiva Segunda etapa

Tabela 9 - Análise Descritiva para P-Total, P-Total Solúvel e P-Total Suspenso.

Fatores		Análises											
		P-Total				P-Total Solúvel				P-Total Suspenso			
Reagente	Concentração	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação
FeCl <sub>3</sub>	100	13,85	0,08	0,007	0,68	12,16	0,10	0,01	1,007	1,69	0,24	5,86	1,60
FeCl <sub>3</sub>	300	5,21	0,19	0,03	4,17	4,65	0,43	0,18	10,53	0,56	0,24	0,05	48,21
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	100	13,55	0,21	0,04	1,80	11,85	0,35	0,12	3,33	1,70	0,13	0,01	8,79
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	300	0,84	0	0	0	5,76	0,38	0,15	7,55	1,07	0,38	0,15	40,40
FeCl <sub>3</sub> +CaO	100	12,31	0,66	0,44	6,08	11,15	0,94	0,89	9,51	1,15	0,27	0,77	27,10
FeCl <sub>3</sub> +CaO	300	4,74	0,32	0,10	7,74	0,78	0,14	0,02	4,32	0,96	0,18	0,03	21,11
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> +CaO	100	14,19	0,54	0,29	4,31	12,59	0,36	0,13	3,24	1,60	0,18	0,03	12,76
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> +CaO	300	7,62	0,27	0,07	4,10	6,76	0,18	0,03	3,01	0,85	0,09	0,009	12,72

Tabela 10- Análise Descritiva para Ortofosfato, Ortofosfato Solúvel e Ortofosfato Suspenso.

Fatores		Análises											
		Ortofosfato				Ortofosfato Solúvel				Ortofosfato Suspenso			
Reagente	Concentração	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação
FeCl <sub>3</sub>	100	5,99	0,19	0,03	3,58	5,63	0,32	0,10	6,44	0,35	0,13	0,01	42,11
FeCl <sub>3</sub>	300	2,07	0,02	8,61	1,58	1,61	0,051	0,002	3,57	0,46	0,02	4,84	5,36
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	100	5,92	0,11	0,01	2,09	5,28	0,058	0,003	1,24	0,63	0,16	0,02	29,75
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	300	2,66	0,08	0,006	3,40	2,26	0,15	0,02	7,66	0,40	0,23	0,05	65,27
FeCl <sub>3</sub> +CaO	100	5,61	0,01	2,15	0,29	5,22	0,34	0,11	7,42	0,38	0,33	0,10	95,45
FeCl <sub>3</sub> +CaO	300	1,50	0,13	0,01	9,84	1,23	0,13	0,01	11,99	0,26	0	0	0
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> +CaO	100	6,39	0,24	0,06	4,38	5,84	0,58	0,34	11,29	0,54	0,33	0,11	69,04
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> +CaO	300	3,37	0,06	0,004	2,20	3,06	0,03	0,001	1,34	0,30	0,02	8,61	10,97

Tabela 11 - Análise Descritiva para Polifosfato, Polifosfato Solúvel e Polifosfato Suspenso

Fatores		Análises											
		Polifosfato				Polifosfato Solúvel				Polifosfato Suspenso			
Reagente	Concentração	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação
FeCl <sub>3</sub>	100	4,02	0,33	0,11	9,29	3,45	0,24	0,06	7,99	0,56	0,08	0,007	17,26
FeCl <sub>3</sub>	300	0,52	0,17	0,03	38,01	0,39	0,11	0,01	32,25	0,13	0,06	0,004	54,77
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	100	4,68	0,05	0,002	1,26	4,04	0,07	0,005	1,99	0,64	0,01	3,48	3,26
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	300	0,90	0,06	0,004	8,54	0,70	0,05	0,002	8,38	0,19	0,01	2,42	9,14
FeCl <sub>3</sub> +CaO	100	3,84	0,32	0,10	9,37	3,23	0,23	0,05	8,12	0,61	0,08	0,007	15,90
FeCl <sub>3</sub> +CaO	300	0,25	0,08	0,006	35,19	0,18	0,08	0,007	52,04	0,07	0,003	9,68	4,54
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> +CaO	100	4,88	0,09	0,009	2,29	4,23	0,06	0,003	1,65	0,65	0,03	0,001	6,40
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> +CaO	300	1,12	0,07	0,006	7,79	0,84	0,08	0,007	11,17	0,27	0,006	3,87	2,52

Tabela 12 - Análise Descritiva para P-Orgânico, P-Orgânico Solúvel e P-Orgânico Suspenso

Fatores		Análises											
Reagente	Concentração	P-Orgânico				P-Orgânico Solúvel				P-Orgânico Suspenso			
		Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação
FeCl <sub>3</sub>	100	3,83	0,43	0,19	12,86	3,06	0,45	0,21	16,88	0,77	0,02	4,29	3,01
FeCl <sub>3</sub>	300	2,61	0,40	0,16	17,22	2,64	0,59	0,35	25,47	0,05	0,07	0,006	159,09
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	100	2,94	0,16	0,02	6,13	2,52	0,48	0,23	21,46	0,42	0,32	0,10	85,26
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	300	3,27	0,14	0,02	5,11	2,79	0,28	0,08	11,51	0,48	0,13	0,01	31,95
FeCl <sub>3</sub> +CaO	100	2,85	0,33	0,10	13,04	2,70	0,36	0,13	15,25	0,15	0,03	0,001	26,46
FeCl <sub>3</sub> +CaO	300	2,98	0,53	0,29	20,37	2,36	0,36	0,13	17,22	0,62	0,17	0,03	32,35
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> +CaO	100	2,91	0,69	0,48	26,80	2,52	0,88	0,78	39,63	0,39	0,19	0,03	54,99
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> +CaO	300	3,12	0,13	0,01	4,83	2,85	0,06	0,003	2,40	0,27	0,07	0,005	29,84

Tabela 13 - Análise Descritiva para DQO, DQO Solúvel e SST.

Fatores		Análises											
Reagente	Concentração	DQO				DQO Solúvel				SST			
		Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação
FeCl <sub>3</sub>	100	130,96	20,57	423,27	17,67	112,26	15,67	245,71	15,70	143	4,24	18	3,33
FeCl <sub>3</sub>	300	89,40	22,53	507,73	28,35	74,85	5,87	34,55	8,83	104,5	10,60	112,5	11,41
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	100	139,27	20,57	423,27	16,61	124,73	23,51	552,84	21,20	109,5	4,94	24,5	5,08
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	300	88,01	10,77	116,13	13,77	73,46	5,87	34,55	9,001	90	1,41	2	1,76
FeCl <sub>3</sub> +CaO	100	112,26	29,39	863,82	29,45	90,78	34,28	1175,76	42,49	125,5	3,53	12,5	3,16
FeCl <sub>3</sub> +CaO	300	74,16	24,49	599,87	37,15	50,60	18,61	346,48	41,37	74,5	0,70	0,5	1,06
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> +CaO	100	159,36	15,67	245,71	11,06	142,74	23,51	552,84	18,53	135	2,82	8	2,35
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> +CaO	300	139,27	18,61	346,48	15,03	128,88	25,47	648,82	22,23	116,5	6,36	40,5	6,14