

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ**  
**CAMPUS DE CASCAVEL**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**AVALIAÇÃO DE BIODIGESTOR TUBULAR NA DEGRADAÇÃO ANAERÓBIA DE CAMA  
DE FRANGO DE CORTE**

**MICHAEL STEINHORST ALCANTARA**

**CASCAVEL – Paraná – Brasil**

**Fevereiro - 2012**

**MICHAEL STEINHORST ALCANTARA**

**AVALIAÇÃO DE BIODIGESTOR TUBULAR NA DEGRADAÇÃO ANAERÓBIA DE CAMA  
DE FRANGO DE CORTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração **Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental**.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Hermínia Ferreira Tavares

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Simone Damasceno Gomes

**CASCAVEL – Paraná - Brasil**

**Fevereiro – 2012**

**Michael Steinhorst Alcantara**

**AVALIAÇÃO DE BIODIGESTOR TUBULAR NA DEGRADAÇÃO ANAERÓBIA DE CAMA  
DE FRANGO DE CORTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, para aprovação pela seguinte banca examinadora:

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Hermínia Ferreira Tavares  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE  
*Campus Cascavel*

Prof. Dr. Fernando Hermes Passig  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR  
*Campus de Campo Mourão*

Prof. Dr. Divair Christ  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE  
*Campus Cascavel*

**CASCADEL - Paraná - Brasil**

**Fevereiro – 2012**

## **BIOGRAFIA RESUMIDA**

Brasileiro, nasceu em Campo Grande – MS, no ano de 1987. Ingressou no curso de Engenharia Agrícola da UNIOESTE no ano de 2005, tendo se graduado no ano de 2009. No ano de 2006, ingressou no curso de Técnico em Eletrônica, no Centro Estadual de Educação Profissional, cujo título foi obtido em 2007. Na qualidade de estudante de graduação, participou de projetos de iniciação científica, tanto dos programas institucionais da UNIOESTE como do CNPq, com bolsa de Iniciação Tecnológica Industrial. Em 2010, ingressou no Mestrado de Engenharia Agrícola pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UNIOESTE.

“Não se gerencia o que não se mede,  
não se mede o que não se define, não  
se define o que não se entende, não há  
sucesso no que não se gerencia.”

Willian Edward Deming

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus;

À minha mãe, Milda Catarina Steinhorst, à minha avó, Erna Pantle Steinhorst, e à minha irmã, Greyce Kelly Steinhorst Alcântara, pelo apoio em todos os momentos;

À Professora Doutora Maria Hermínia Ferreira Tavares, pela orientação;

À Professora Doutora Simone Damasceno Gomes pela co-orientação;

Aos colegas Geovane Grisotti e Fernanda Lopes Domingues, pelo apoio na pesquisa;

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos do Mestrado em Engenharia Agrícola;

Ao PGEAGRI, pelo conhecimento repassado;

A todos, que de alguma forma, ajudaram na minha formação.

## **AVALIAÇÃO DE BIODIGESTOR TUBULAR NA DEGRADAÇÃO ANAERÓBIA DE CAMA DE FRANGO DE CORTE**

No século XXI, a produção de frangos de corte ganhou espaço no mercado e continua crescendo, devido ao alto consumo da carne. A cama de frango é o resíduo gerado em maior quantidade na produção de frangos e caracteriza-se pela elevada concentração de matéria orgânica. O sistema de produção de frango de corte das empresas integradoras delimita um raio ao seu redor para implantação de aviários, visando à redução de custos, além de ocasionar a concentração de cama de frango nas regiões produtoras e gerar a necessidade de tratar o resíduo. A digestão anaeróbia é uma alternativa de tratamento, com alta remoção de carga orgânica. Logo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de tratamento da digestão anaeróbia da cama de frango em biodigestor tubular de fluxo semicontínuo. Os tratamentos aplicados variaram tanto a quantidade de sólidos totais voláteis adicionados, de 2,93 a 3,72% como o tempo de detenção hidráulica, de 11,60 a 28,40 dias. Os biodigestores foram mantidos a 27 °C e considerados estabilizados quando as eficiências de remoção de sólidos totais, sólidos totais voláteis e demanda química de oxigênio encontraram-se dentro do controle estatístico de qualidade. Depois de estabilizados, os onze biodigestores de 0,60 m por 0,15 m (comprimento x diâmetro) foram avaliados quanto à remoção de sólidos e à demanda química de oxigênio com o controle estatístico de qualidade. O delineamento composto central rotacional foi em esquema fatorial ( $2^2$ ), em dois níveis (1, +1), mais os pontos axiais ( $-\alpha$ ,  $+\alpha$ ) e o ponto central. A análise do controle estatístico de qualidade mostrou que o tratamento com 3,32% de sólidos totais voláteis adicionados e 20 dias de tempo de detenção hidráulica foi o que mais se destacou na remoção de sólidos totais (64,37%) e sólidos totais voláteis (72,38%) e os valores de remoção de demanda química de oxigênio foram próximos em todos os tratamentos, em torno de 80%. Com o delineamento composto central rotacional, foram verificados modelos estatísticos significativos para a remoção de sólidos totais e demanda química de oxigênio.

**Palavras-chave:** avicultura, biodegradabilidade, controle de qualidade, delineamento composto central rotacional.

## EVALUATION OF TUBULAR BIODIGESTER IN ANAEROBIC DEGRADATION WITH BROILER LITTER

In the twenty-first century, the broiler production has increased in the world and continues increasing due to the high consumption of this meat. The broiler litter is the largest amount of waste generated in poultry production. It is also characterized by its high concentration of organic matter. The broiler production integrated system defines a radius around it to settle down poultry farms in order to reduce costs. It has also increased the concentration of broiler litter in the producing regions and demanded waste treatment. So, the anaerobic digestion has come as an alternative treatment with high organic load removal. Thus, this trial aimed at evaluating the treatment capacity of broiler litter by anaerobic digestion into tubular biodigester with a semi-continuous flow. The applied treatments varied both the amount of added total volatile solids, from 2.93 to 3.72%, as well as the hydraulic retention time, from 11.60 to 28.40 days. The digesters were maintained at 27 °C and considered stabilized when the removal efficiency of total solids, total volatile solids and chemical oxygen demand were according to the statistical quality control. Once stabilized, the 11 digesters of 0.6 m per 0.15 m (length per diameter) were evaluated for removal of solids and chemical oxygen demand with statistical quality control and design composite central rotational in a factorial design ( $2^2$ ), at two levels (-1, 1), plus the axial points ( $-\alpha$ ,  $\alpha$ ) and the central point. The analysis of statistical quality control showed that the treatment with 3.32% added total volatile solids and 20 days of hydraulic retention time removed the highest amount of total solids (64.37%) and total volatile solids (72.38%), while the removal values of chemical oxygen demand were similar in all treatments, around 80%. Significant statistical models were registered with the central composite rotational design to remove total solids and for chemical oxygen demand.

**Keywords:** aviculture, biodegradation, quality control, central composite rotational design.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS .....	vii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS .....	3
2.1 Objetivo geral .....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Passivo ambiental .....	4
3.1 Produção de frangos .....	5
3.2 Cama de frango (CF).....	6
3.3 Digestão anaeróbia .....	7
3.4 Biofertilizante.....	8
3.5 Modelos de biodigestores usados para cama de frango.....	8
3.6 Controle estatístico de qualidade (CEQ).....	9
3.7 Delineamento composto central rotacional (DCCR) .....	10
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	12
4.1 Local do experimento .....	12
4.2 Biodigestor .....	12
4.3 Inóculo .....	13
4.4 Planejamento experimental .....	13
4.4 Condução do experimento.....	14
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	16
5.1 Caracterização .....	16
5.2 Estabilização dos biodigestores .....	19
5.3 Avaliação dos biodigestores.....	20
5.3.1 Controle estatístico de qualidade (CEQ).....	20
5.3.2 Eficiência de remoção de ST .....	21
5.3.3 Eficiência de remoção de STV.....	23
5.3.4 Eficiência de remoção de DQO.....	24
6 CONCLUSÕES.....	27
7 REFERÊNCIAS .....	28
ANEXOS.....	32

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> Especificação dos níveis dos fatores usados no planejamento.....	14
<b>Tabela 2</b> Matriz do delineamento composto central rotacional ( $2^2$ ) com as variáveis codificadas e reais, em função de $X_1$ e $X_2$ ( $STV_{adicionados}$ e TRH).....	14
<b>Tabela 3</b> Métodos utilizados para analisar os parâmetros físico-químicos.....	15
<b>Tabela 4</b> Caracterização inicial dos nutrientes do IN, do RIN, CF1 e CF2.....	16
<b>Tabela 5</b> Caracterização dos biodigestores quanto ao pH e à relação AV/AT no período de avaliação .....	17
<b>Tabela 6</b> Caracterização dos parâmetros físico-químicos das amostras do efluente final dos biodigestores no dia inicial de avaliação .....	18
<b>Tabela 7</b> Caracterização dos parâmetros físico-químicos das amostras do efluente final dos biodigestores no dia final de avaliação .....	18
<b>Tabela 8</b> Carga orgânica volumétrica de alimentação avaliada em cada tratamento.....	19
<b>Tabela 9</b> Eficiências médias de remoção de matéria orgânica .....	20
<b>Tabela 10</b> Efeitos estimados para remoção de ST (%).....	21
<b>Tabela 11</b> ANOVA do modelo linear para remoção de ST (%) .....	22
<b>Tabela 12</b> Efeitos estimados para remoção de STV (%) .....	24
<b>Tabela 13</b> Efeitos estimados para remoção de DQO (%) .....	24
<b>Tabela 14</b> ANOVA do modelo linear para remoção de DQO (%).....	25

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Etapas da biodigestão anaeróbia.....	7
<b>Figura 2</b> A: Ambiente climatizado; B: Biodigestor tubular; C: Retirada de efluente do biodigestor; D: Pontos de amostragem e saída de biogás; E: Abastecimento do biodigestor. ....	12
<b>Figura 3</b> Gráfico de Pareto para os valores absolutos dos efeitos estimados das variáveis estudadas e significativas sobre a remoção de ST (%). ....	22
<b>Figura 4</b> Gráfico de contorno para remoção de ST (%) em função de $STV_{adicionados}$ e TRH..	23
<b>Figura 5</b> Gráfico de superfície de resposta para remoção de ST (%) em função de $STV_{adicionados}$ e TRH .....	23
<b>Figura 6</b> Gráfico de Pareto para os valores absolutos dos efeitos estimados das variáveis estudadas e significativas sobre a remoção de DQO (%). ....	25
<b>Figura 7</b> Gráfico de contorno para remoção de DQO (%) em função de $STV_{adicionados}$ e TRH. ....	26
<b>Figura 8</b> Gráfico de superfície de resposta para remoção de DQO (%) em função de $STV_{adicionados}$ e TRH. ....	26
<b>Figura 9</b> Tratamento 1: 3,04% de $STV_{adicionados}$ e 14 dias de TRH.....	32
<b>Figura 10</b> Tratamento 2: 3,61% de $STV_{adicionados}$ e 14 dias de TRH.....	32
<b>Figura 11</b> Tratamento 3: 3,04% de $STV_{adicionados}$ e 26 dias de TRH.....	33
<b>Figura 12</b> Tratamento 4: 3,61% de $STV_{adicionados}$ e 26 dias de TRH.....	33
<b>Figura 13</b> Tratamento 5: 3,32% de $STV_{adicionados}$ e 20 dias de TRH.....	34
<b>Figura 14</b> Tratamento 6: 3,32% de $STV_{adicionados}$ e 20 dias de TRH.....	34
<b>Figura 15</b> Tratamento 7: 3,32% de $STV_{adicionados}$ e 20 dias de TRH.....	35
<b>Figura 16</b> Tratamento 8: 2,93% de $STV_{adicionados}$ e 20 dias de TRH.....	35
<b>Figura 17</b> Tratamento 9: 3,72% de $STV_{adicionados}$ e 20 dias de TRH.....	36
<b>Figura 18</b> Tratamento 10: 3,32% de $STV_{adicionados}$ e 11,61 dias de TRH.....	36
<b>Figura 19</b> Tratamento 11: 3,32% de $STV_{adicionados}$ e 28,39 dias de TRH.....	37
<b>Figura 20</b> Tratamento 1: 3,04% de $STV_{adicionados}$ e 14 dias de TRH.....	37
<b>Figura 21</b> Tratamento 2: 3,61% de $STV_{adicionados}$ e 14 dias de TRH.....	38
<b>Figura 22</b> Tratamento 3: 3,04% de $STV_{adicionados}$ e 26 dias de TRH.....	38
<b>Figura 23</b> Tratamento 4: 3,61% de $STV_{adicionados}$ e 26 dias de TRH.....	39

<b>Figura 24</b> Tratamento 5: 3,32% de STV <sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.....	39
<b>Figura 25</b> Tratamento 6: 3,32% de STV <sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.....	40
<b>Figura 26</b> Tratamento 7: 3,32% de STV <sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.....	40
<b>Figura 27</b> Tratamento 8: 2,93% de STV <sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.....	41
<b>Figura 28</b> Tratamento 9: 3,72% de STV <sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.....	41
<b>Figura 29</b> Tratamento 10: 3,32% de STV <sub>adicionados</sub> e 11,61 dias de TRH.....	42
<b>Figura 30</b> Tratamento 11: 3,32% de STV <sub>adicionados</sub> e 28,39 dias de TRH.....	42
<b>Figura 31</b> Tratamento 1: 3,04% de STV <sub>adicionados</sub> e 14 dias de TRH.....	43
<b>Figura 32</b> Tratamento 2: 3,61% de STV <sub>adicionados</sub> e 14 dias de TRH.....	43
<b>Figura 33</b> Tratamento 3: 3,04% de STV <sub>adicionados</sub> e 26 dias de TRH.....	44
<b>Figura 34</b> Tratamento 4: 3,61% de STV <sub>adicionados</sub> e 26 dias de TRH.....	44
<b>Figura 35</b> Tratamento 5: 3,32% de STV <sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.....	45
<b>Figura 36</b> Tratamento 6: 3,32% de STV <sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.....	45
<b>Figura 37</b> Tratamento 7: 3,32% de STV <sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.....	46
<b>Figura 38</b> Tratamento 8: 2,93% de STV <sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.....	46
<b>Figura 39</b> Tratamento 9: 3,72% de STV <sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.....	47
<b>Figura 40</b> Tratamento 10: 3,32% de STV <sub>adicionados</sub> e 11,61 dias de TRH.....	47
<b>Figura 41</b> Tratamento 11: 3,32% de STV <sub>adicionados</sub> e 28,39 dias de TRH.....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS

AT	Alcalinidade total
AV	Acidez volátil
AV/AT	Relação entre acidez volátil e alcalinidade total
CEQ	Controle estatístico de qualidade
CF	Cama de frango
CCA	Caldo de cana-de-açúcar
DCCR	Delineamento composto central rotacional
DQO	Demanda química de oxigênio
LAREB	Laboratório de Reatores Biológicos
PVC	Policloreto de vinila
ST	Sólidos totais
STV	Sólidos totais voláteis
TRH	Tempo de retenção hidráulica
UASB	Upflow anaerobic sludge blanket

## 1 INTRODUÇÃO

No século XXI, a produção de frangos de corte ganhou espaço no mercado e continua crescendo, devido ao alto consumo da carne, a qual é de valor acessível ao consumidor.

Os abatedouros de frango atraem os produtores ao seu redor pelos benefícios de implantação de uma nova renda na propriedade. Isso faz com que se concentre nas regiões produtoras de frangos um dos maiores resíduos da produção, a cama de frango (CF). A alta tecnificação dos aviários aumentou a densidade de aves por metro quadrado e a demanda por energia, o que agravou o problema ambiental.

A CF é o material utilizado no piso dos aviários a fim de evitar calos de pata, ajudar a manter a temperatura do aviário, absorver umidade e receber excretas, penas e restos de ração. Atualmente, as empresas reutilizam de 6 a 13 lotes da cama de maravalha na produção de frangos de corte no Paraná. Considerando um aviário de 1200m<sup>2</sup> com uma densidade de 17 aves m<sup>-2</sup> e 45 dias para abate dos frangos, ao final de 13 lotes, são geradas aproximadamente 200 toneladas de CF.

A biodigestão anaeróbia surge como alternativa de tratamento para reduzir o potencial poluidor da CF, a qual é uma solução conveniente, pois além de reduzir o potencial poluidor, converte a matéria orgânica do substrato em biogás e biofertilizante.

O biofertilizante é um líquido escuro resultante da fermentação da matéria orgânica com utilização como adubo foliar, no solo junto às raízes, em sistemas hidropônicos de cultivo e como adubo para tanques de piscicultura. Ademais, ele contribui para a produção agrícola da propriedade. Já o biogás, por seu poder calorífico, tem aplicação direta na produção de frangos de corte, como substituto tanto da lenha no aquecimento dos pintainhos como da energia elétrica.

O aproveitamento do biogás para geração de energia elétrica ou queima direta ocasiona uma redução no potencial de poluição do meio ambiente, uma vez que é composto por acentuada concentração de gás metano (CH<sub>4</sub>), aproximadamente 21 vezes superior ao dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), no que se refere ao efeito estufa.

A eficiência dos processos de biodigestão anaeróbia depende de diversos fatores, dentre eles estão: carga orgânica de alimentação, temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), concentração de inibidores, composição do substrato, tipo de biodigestor, meio suporte, relação C/N, entre outros.

Para um tratamento ambiental ser eficiente, deve ser estabilizado no seu padrão de máximo rendimento. Por ser um processo biológico, a biodigestão anaeróbia, a qualquer momento, pode ocasionar variações nos seus subprodutos (biofertilizante e biogás), cujos resultados podem ser: baixa qualidade, perda de produção ou baixa remoção de matéria orgânica (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008).

Portanto, é importante verificar a estabilidade da biodigestão anaeróbia, haja vista o controle estatístico de qualidade (CEQ) ser uma ferramenta estatística que auxilia no monitoramento das variações do sistema no tempo.

Outra ferramenta importante na análise de processos de fermentação é o delineamento composto central rotacional (DCCR): técnica estatística que estima os efeitos das variáveis estudadas, identifica as variáveis mais relevantes e caracteriza seus desempenhos em superfícies de resposta (RODRIGUES; IEMMA, 2009).

Com o intuito de esclarecer a capacidade de tratamento da biodigestão anaeróbia da CF em biodigestor tubular de fluxo semicontínuo, o presente trabalho utilizou o controle estatístico de qualidade para verificar a estabilidade dos biodigestores e o delineamento composto central rotacional em esquema fatorial completo ( $2^2$ ) como ferramenta de análise dos tratamentos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o desempenho da biodigestão anaeróbia da cama de frango (CF) em biodigestor tubular, que opera com alimentação semicontínua e em escala de laboratório.

### **2.2 Objetivos específicos**

Verificar a estabilização e a eficiência de remoção de sólidos totais, sólidos totais voláteis e demanda química de oxigênio em biodigestores com a utilização do controle estatístico de qualidade (CEQ).

Verificar a região de máxima remoção de matéria orgânica, a partir da geração de modelos e superfície de resposta com as eficiências de remoção de sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV) e da demanda química de oxigênio (DQO).

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Passivo ambiental

O Brasil é o maior exportador de carne de frango e, para manter sua posição, deve se adequar às exigências internacionais dos padrões de qualidade, bem como procurar recursos alternativos de melhoria para os requisitos de bem-estar animal e das questões ambientais, sem grande incremento no custo de produção (MOURA et al., 2010).

A preocupação mundial tem sido crescente em relação às mudanças do clima no planeta, decorrentes principalmente das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases de potencial efeito estufa, como o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (CARVALHO et al., 2010).

O estabelecimento de uma agricultura sustentável, que preserve o meio ambiente e proporcione segurança alimentar futura, é fator primordial para o desenvolvimento da humanidade ante as mudanças climáticas e o declínio das reservas energéticas não renováveis (BARBOSA; RAMIRO, 2010).

A prática de adubação orgânica contribui para a sustentabilidade de uma propriedade rural, pois a utilização de esterco animal da propriedade como substitutos dos insumos utilizados na agricultura pode torná-la independente quanto aos insumos. Na avicultura, um dos destinos dos dejetos (CF) da produção é seu uso como fertilizantes (COSTA, 2009).

Torna-se imprescindível destacar que a poluição ambiental provocada também por excreção excessiva de nitrogênio, fósforo e alguns microminerais na produção avícola já é realidade em diversas partes do mundo, inclusive em algumas regiões do Brasil (COSTA, 2009).

A volatilização da amônia a partir da CF contribui para a poluição atmosférica, afeta negativamente o desempenho dos frangos e diminui o valor fertilizante (CHOI; MOORE JR., 2008). A qualidade do ar em ambientes de produção animal é referenciada como ponto de interesse em estudos de sistema de controle ambiental, pois foca tanto a saúde dos animais que vivem em total confinamento como a dos trabalhadores (NÄÄS, 2007).

Medeiros et al. (2008) avaliaram a redução da volatilização de amônia em CF de 4 ciclos de 42 dias e 12 aves m<sup>-2</sup> por meio da adição de aditivos químicos e concluíram que com 15% de superfosfato simples foram obtidos 95% de reduções (P<0,05), e entre diferentes aditivos, o sulfato de cobre foi o melhor (P<0,05) na inibição da volatilização (62%), seguido do sulfato de alumínio (53%) e do superfosfato simples (43%), assim, foi comprovada a ação inibitória da água na volatilização da amônia.

Mostra-se, portanto, que o uso de aditivos na CF é uma solução rápida e econômica

para reduzir a volatilização da amônia e amenizar alguns problemas como o aumento na incidência de doenças respiratórias nas aves e no ser humano, a desclassificação de carcaça devido às lesões na pele e a redução do teor de nitrogênio na cama, o que diminui seu valor como fertilizante (OLIVEIRA, 2003).

### **3.1 Produção de frangos**

Desde o início do século XXI, a atividade avícola tem vivenciado a globalização do mercado, em que, os produtos e os processos de produção devem ser adequados às normas de aceitabilidade do cliente. Isso fez com que o desenvolvimento sustentável e os programas de gestão ambiental e social se incorporassem ao produto comercial (SANTOS, 2006).

Todos os continentes produzem frangos desde a granja até o processamento industrial, por conseguinte, o segmento avícola é um importante fornecedor de proteínas (DIAS; SOUZA, 2006). Os frangos são os animais mais eficientes para transformar proteína vegetal em animal em curto tempo e pouco espaço.

O Brasil, em 2009, foi o terceiro maior produtor mundial de carne de frangos, perdendo apenas para a China e para os Estados Unidos da América, com 12,4, 14,2 e 20,3% da produção mundial, respectivamente (FAO, 2011). Em 2010, o Brasil produziu  $10,69 \times 10^6$  toneladas de frangos abatidos e o Paraná contribuiu com 25,5% desse montante, com  $2,73 \times 10^6$  toneladas (IBGE, 2011). No período de 1997 a 2010, o Brasil e o Paraná aumentaram em peso de carcaça de frango abatido 2,7 e 3,8 vezes respectivamente a produção de frangos abatidos anualmente (IBGE, 2011).

O sistema de transporte de pintinhos, ração e frangos para o abate das empresas produtoras de frangos faz com que incubatórios, fábricas de ração, granjas e abatedouros sejam localizados a distâncias centralizadas para a produção. Isso aumenta o impacto ambiental por trazerem os nutrientes de outros lugares para fabricar a ração e concentrarem uma elevada quantidade de resíduos nas regiões produtoras (OVIDO-RONDÓN, 2008).

A avicultura tem sido tradicionalmente uma atividade típica de pequenas propriedades, porém, o alto grau de automação e de investimentos em equipamentos, instalações e insumos tem excluído da atividade os produtores sem capacidade empresarial e sem capital suficiente para empreendimentos modernos (ZANUSSO; DIONELLO, 2003).

### 3.2 Cama de frango (CF)

Denomina-se cama todo o material distribuído em um galpão ou estábulo para servir de leito aos animais. A CF é uma mistura de esterco de galinha, maravalha, resíduos de ração e penas (TIQUIA; TAM, 2002). Sua relação C/N foi citada em 9,3 e 13,5, o pH em 7,1 e 8,4 e o teor de umidade em 75,0 e 75,5% por Turan (2009) e Guo; Tongtavee e Labreveux (2009), respectivamente.

A produção de frangos de corte tem gerado uma alta concentração de CF nas regiões produtoras. O solo e a extração dos nutrientes pelas culturas nestas regiões não estão sendo mais suficientes para reciclá-los e utilizá-los devido à grande disponibilidade de CF, provocando a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas (HAHN, 2004).

Nos sistemas de plantio direto, a CF não é incorporada ao solo e, devido ao contato limitado, sua liberação de nutrientes para o solo deve-se principalmente ao intemperismo natural e à lixiviação (GUO; TONGTAVÉE; LABREVEUX, 2009).

Atualmente, as empresas reutilizam a cama de maravalha em até 13 lotes na criação de frangos de corte no Paraná. Logo, ao final de 13 lotes, são geradas aproximadamente 200 toneladas de CF, considerando um aviário de 1200 m<sup>2</sup>, 17 aves m<sup>-2</sup> e 45 dias para abate dos frangos.

Esta grande quantidade de CF concentrada em regiões tem causado crescentes preocupações devido ao mau gerenciamento. Assim, um tratamento urgente é requerido devido à liberação da amônia (NH<sub>3</sub>) e dos gases do efeito estufa, como o gás metano (CH<sub>4</sub>) e gás carbônico (CO<sub>2</sub>), que podem causar problemas de poluição atmosférica (YETILMEZSOY; SAKAR, 2008).

Tessaro (2011) determinou, com base em 45 amostras, que a CF da Região Sudoeste do Paraná é constituída, em média, de 26,6 ± 12,6% de N, 13,6 ± 5,6 de P, 26,3 ± 12,6 de K, 23,6 ± 14,2 de Ca e 5,0 ± 1,2 de Mg. O autor também menciona preocupações com a poluição dos solos e dos recursos hídricos com nutrientes, microrganismos patogênicos e resíduos químicos usados na produção avícola com a utilização da CF como fertilizante. Faz-se necessário o desenvolvimento de medidas para diminuição ou eliminação desses riscos.

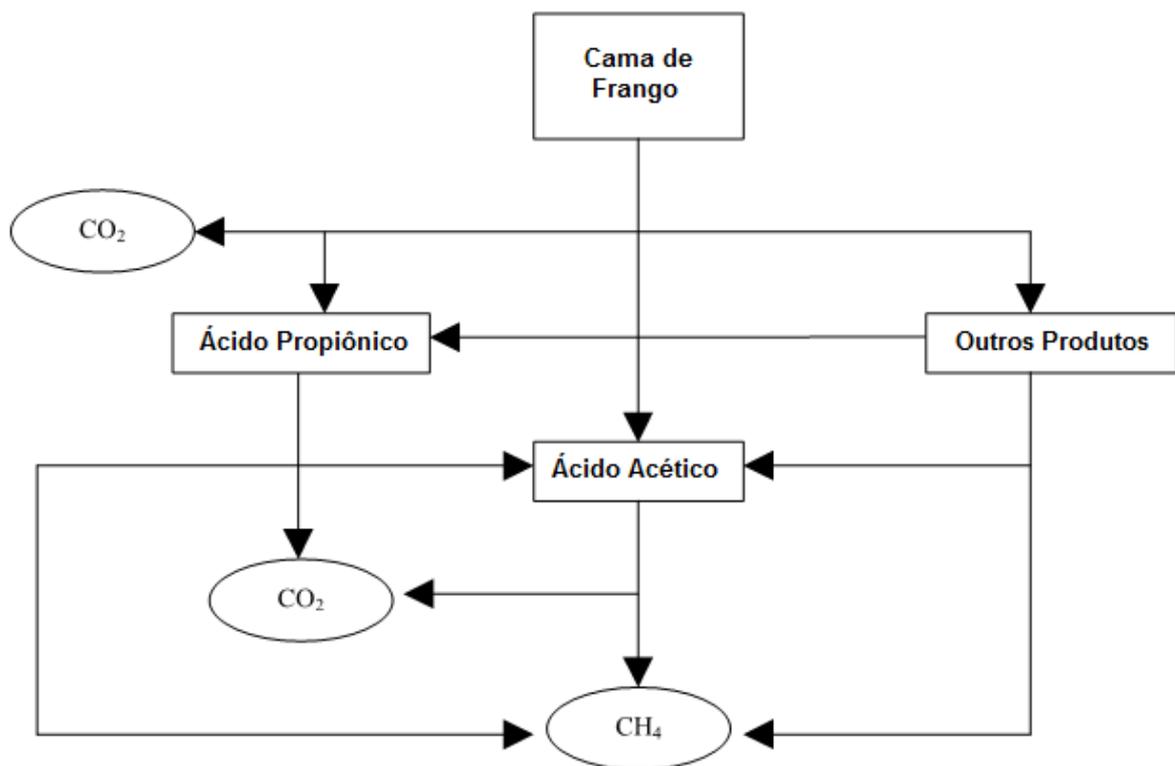
A digestão anaeróbia é uma alternativa de tratamento para decomposição da CF que pode ser utilizada para redução do poder poluente, dos riscos sanitários e da obtenção do biofertilizante e do biogás, além de contribuir para a redução da poluição ambiental e contaminação de solos e de água subterrânea e de superfície (NAMIUCHI, 2002).

### 3.3 Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é uma tecnologia bioquímica para o tratamento de resíduos orgânicos e produção de biofertilizante e de biogás.

Segundo Chernicharo (2007), o processo de estabilização anaeróbia oferece: alto grau de conversão da matéria orgânica em produtos finais, produção de biofertilizante, possibilita seu emprego em fertirrigação, baixa produção de lodo; destruição de eventuais microrganismos patogênicos e geração de biogás com elevado teor de metano.

O processo de biodigestão anaeróbia, especificamente para a CF, é composto basicamente pela etapa da hidrólise, em que as bactérias anaeróbias e facultativas transformam os compostos orgânicos complexos (gorduras, proteínas e polissacarídeos) em compostos orgânicos simples (ácidos orgânicos, álcoois e novas células bacterianas) e pela etapa em que as bactérias estritamente anaeróbias convertem os produtos da hidrólise principalmente em metano e gás carbônico (KELLEHER et al., 2002). As duas fases são ilustradas na Figura 1.



**Figura 1** Etapas da biodigestão anaeróbia.  
Fonte: KELLEHER et al. (2002).

A eficiência do processo de biodigestão anaeróbia depende do material a ser digerido, de sua composição (KACPRZAK; KRZYSTEK; LEDAKOWICZ, 2010), da comunidade microbiológica e das mudanças de uma ou mais condições operacionais, como composição e concentração do resíduo (BOONAPATCHAROEN et al., 2007), pH, alcalinidade, acidez volátil (AV), tempo de retenção de sólidos (APPELS et al., 2008).

É de extrema importância conhecer o comportamento da biodigestão anaeróbia para usufruir dessa tecnologia com maior aproveitamento de seus subprodutos e estabilizar o biodigestor na condição operacional desejada.

A estabilidade de um biodigestor consiste em produzir subprodutos e remover matéria orgânica de maneira que os índices oscilem em torno de sua média ou de um valor conhecido (padrão), sem apresentarem valores viciados (erros) nem fora dos limites pré-estabelecidos, demonstrando que as condições operacionais estão sob controle e o biodigestor está estável.

### **3.4 Biofertilizante**

O biofertilizante resultante da fermentação anaeróbia da matéria orgânica é um líquido escuro, caracterizado como fertilizante orgânico que possui baixa concentração de carbono e contém microrganismos vivos.

O biofertilizante puro contém uma elevada concentração de nutrientes e pode ser utilizado diretamente no solo, em sistemas hidropônicos e como fertilizante foliar (ALCANTARA et al., 2010). Tessaro (2011) concluiu que o biofertilizante líquido obtido da fermentação da cama de aviário pode ser utilizado de várias maneiras, todavia, o método mais eficiente é a aplicação via pulverização nas folhas, cujo efeito é mais rápido.

A maior diferença entre fertilizantes orgânicos e minerais está na facilidade desses últimos terem seus nutrientes solubilizados no solo quando aplicados. E isso pode ser uma desvantagem, pois a amônia pode ser volatilizada pela superfície do solo onde foi aplicada. O nitrato pode ser lixiviado para a região abaixo das raízes e o ferro pode se tornar insolúvel (KIEHL, 2010).

### **3.5 Modelos de biodigestores usados para cama de frango**

Atualmente, a biodigestão anaeróbia da CF utiliza modelos hidráulicos semicontínuo e descontínuo, porém o modelo hidráulico semicontínuo merece destaque por produzir biogás continuamente, possibilitar ajustes periódicos na carga orgânica de alimentação para melhor desempenho e descentralizar o trabalho operacional.

Devido à retirada total de CF do aviário depender do número de lotes, o modelo hidráulico semicontínuo necessita da armazenagem da CF após a retirada do aviário para seu funcionamento, pois, geralmente, sua alimentação é diária. Dentre os modelos hidráulicos de biodigestores de fluxo contínuo e semicontínuo normalmente utilizados nos processos de biodigestão anaeróbia, podem ser citados o biodigestor indiano, o chinês, o

tubular ou canadense, o de mistura completa, o de mistura dispersa e o de fluxo ascendente.

Atualmente, o modelo tubular tem despertado maior interesse pelos produtores, pois é de fácil instalação, tem baixo custo de implantação, alta eficiência e boa susceptibilidade a choques de cargas orgânicas de alimentação e inibidores. É simples e se caracteriza por ter um fluxo pistão, no qual a concentração de material não digerido é máxima na entrada e mínima na saída do biodigestor (CHERNICHARO, 2007).

### **3.6 Controle estatístico de qualidade (CEQ)**

O CEQ é uma ferramenta estatística que auxilia na tomada de decisões em um processo e utiliza gráficos de controle para verificar se o processo atende aos padrões pré-estabelecidos (MONTGOMERY, 2009).

O gráfico de controle é uma técnica do CEQ que registra de forma gráfica as medidas de uma variável de monitoramento do processo em função do tempo ou número de amostras. Ele possui uma linha média  $\bar{X}$  e limites superior e inferior (LSC e LIC), que mostram se o processo está dentro do CEQ, a fim de verificar tanto a aleatoriedade dos dados como a variação do processo (MONTGOMERY, 2009).

A utilização dos gráficos estatísticos de controle é uma importante técnica para detectar se existe falta de controle em um processo e seu uso é um importante modo de se detectar e reduzir a variabilidade dos produtos (VILAS BOAS, 2005).

A biodigestão anaeróbia, assim como outros processos, está sujeita à variabilidade natural e esporádica de seus produtos (biogás e biofertilizante). O monitoramento da estabilidade da biodigestão anaeróbia é importante, já que é um processo biológico e pode resultar em picos na produção, além de poder diminuir a qualidade de seus produtos.

O controle de qualidade de processos ajuda a verificar a estabilidade de um biodigestor, pela facilidade de visualizar as variações de seus produtos com os gráficos de controle e pela determinação de limites e é uma ferramenta importante para a biodigestão anaeróbia.

O gráfico de controle de qualidade para medidas individuais (gráfico de Shewhart) é utilizado para situações em que uma medida é realizada a cada vez que um dado é coletado, ou seja, quando o número de repetições de cada amostra é único (VILAS BOAS, 2005), o qual é de interesse para verificação da estabilidade de um processo de biodigestão anaeróbia.

Um processo estatisticamente sob controle atende às condições do CEQ e se resume em ter valores de um índice de análise do processo que oscilam em torno de uma linha média; não são valores viciados (erros) e não estão fora dos limites de controle. Os

limites do gráfico de Shewhart são calculados de acordo com as Equações 1, 2, 3 e 4.

$$LSC = \bar{X} + 3 \overline{AM} / d_2 \quad \text{Eq. (1)}$$

$$LMC = \bar{X} \quad \text{Eq. (2)}$$

$$LIC = \bar{X} - 3 \overline{AM} / d_2 \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que:

$\overline{AM}$ : amplitude móvel média;

$d_2$ : valor constante, para amplitude móvel de duas observações (MONTGOMERY, 2009);

LSC: é o limite superior de controle estatístico;

LIC: limite médio de controle estatístico;

LIC: limite inferior de controle estatístico.

Sendo que:

$$\overline{AM} = |X_i - X_{i-1}| \quad \text{Eq. (4)}$$

Em que:

$\bar{X}$ : média dos valores individuais;

$\overline{AM}$ : amplitude móvel de duas observações sucessivas para estimar a variabilidade do processo.

### 3.7 Delineamento composto central rotacional (DCCR)

O delineamento composto central é um delineamento simétrico e de segunda ordem, constituído por duas partes: o fatorial  $2^k$ , com um ou mais pontos centrais e a parte axial (MATEUS; BARBIN; CONAGIN, 2001).

É uma ferramenta estatística que, associada à superfície de resposta, auxilia no melhoramento de produtos e processos (RODRIGUES; IEMMA, 2009).

Este planejamento experimental determina quais fatores têm efeitos relevantes na resposta; como o efeito de um fator varia com os níveis dos outros fatores; permite estabelecer e quantificar as correlações entre os diferentes fatores; diminui o custo e o tempo do experimento para otimizar o sistema e permite viabilizar o reconhecimento de condições de ótimo verdadeiro a partir de um reduzido número de ensaios experimentais (CUNICO et al., 2008).

Normalmente, estudos que objetivam a otimização de variáveis experimentais são realizados por procedimentos que avaliam o efeito de uma variável por vez. Isso, de maneira geral, impede o estabelecimento de ótimos verdadeiros, em razão da frequência com que as

variáveis se apresentam altamente correlacionadas (PERALTA-ZAMORA; MORAIS; NAGATA, 2005).

Ou seja, as respostas obtidas por este delineamento são a identificação das variáveis estudadas com efeito significativo na resposta, a verificação da região de maior rendimento no gráfico de superfície e a geração de modelos estatísticos do comportamento do processo, sendo de prática utilização.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido no Laboratório de Reatores Biológicos (LAREB) e as análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), *Campus Cascavel*.

### 4.2 Biodigestor

Os biodigestores foram construídos com cloreto de polivinila (PVC), nas dimensões 0,60 x 0,15 m (comprimento x diâmetro), e operados na direção horizontal com 5,75 L de volume útil, caracterizando-se como um biodigestor tubular. Na entrada e na saída do biodigestor, foram conectadas uniões roscáveis com abertura apenas para alimentação. A temperatura da biodigestão foi mantida em 27 °C ( $\pm 2$  °C) com climatização da sala por ar condicionado. O biodigestor está representado na Figura 2.



**Figura 2** A: Ambiente climatizado; B: Biodigestor tubular; C: Retirada de efluente do biodigestor; D: Pontos de amostragem e saída de biogás; E: Abastecimento do biodigestor.

Este experimento havia sido iniciado anteriormente com o objetivo de avaliar a codigestão anaeróbia da CF com caldo de cana-de-açúcar (CCA) para melhorar a digestão

e reduzir a quantidade de água utilizada. Como não se alcançou a produção de metano, 103 dias depois, escolheu-se avaliar somente a biodigestão anaeróbia da CF, devido já ter-se alcançado anteriormente a produção de metano no experimento de Alcantara (2008), no período de 27/05/2008 (enchimento do biodigestor) em 29/08/2008 (primeira queima de biogás), apenas com o emprego de CF.

### 4.3 Inóculo

O inóculo (IN) foi o lodo ativo da biodigestão anaeróbia da CF, proveniente de experimento anterior e que estava armazenado em tambor desde o início de 2009. O inóculo foi caracterizado de acordo com ST, STV, pH, AV/AT. A inoculação foi feita na proporção de 10% (v/v) e o enchimento do biodigestor foi realizado gradualmente, segundo a adaptação das bactérias com a carga de alimentação.

Inicialmente, tentou-se adaptar as bactérias com alimentação gradual com CF e CCA, mas como não se alcançou a produção de metano, os biodigestores foram reinoculados com o lodo restante ativo (RIN), 103 dias depois da primeira inoculação na proporção de 6% (v/v). Excluiu-se o CCA da alimentação e alterou-se a CF (CF1) por outra (CF2) com pH mais básico, de sistema de produção diferente, com a finalidade de corrigir o pH dos biodigestores com o próprio substrato.

### 4.4 Planejamento experimental

O experimento foi composto por 11 biodigestores; foram avaliadas cinco (5) concentrações de STV na alimentação ( $STV_{adicionados}$ ) e cinco (5) TRH na redução de matéria orgânica.

O DCCR foi realizado com quatro (4) tratamentos nos níveis dos pontos fatoriais (+1 e -1), quatro (4) tratamentos nos níveis dos pontos axiais (-1,41, +1,41) e três (3) pontos centrais para verificar o efeito do percentual dos  $STV_{adicionados}$  na alimentação dos biodigestores e do TRH na remoção de ST, STV e DQO. Os gráficos de superfície de resposta foram construídos com o programa Statistica 7.0. Na Tabela 1, são especificados os níveis das variáveis estudadas com os valores reais de cada variável independente:  $STV_{adicionados}$  e TRH.

**Tabela 1** Especificação dos níveis dos fatores usados no planejamento

Variáveis		Níveis				
		-1,41	-1	0	+1	+1,41
	Independentes					
X <sub>1</sub>	STV (%)	2,93	3,04	3,32	3,61	3,72
X <sub>2</sub>	TRH (dias)	11,60	14,00	20,00	26,00	28,40

Obs: As variáveis independentes são relacionadas à alimentação diária.

Na Tabela 2, está apresentada a matriz do DCCR com as variáveis codificadas e reais.

**Tabela 2** Matriz do delineamento composto central rotacional (2<sup>2</sup>) com as variáveis codificadas e reais, em função de X<sub>1</sub> e X<sub>2</sub> (STV<sub>adicionados</sub> e TRH)

Tratamentos	Codificação das Variáveis		STV <sub>adicionados</sub> (% em massa)	TRH (dias)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
1	-1	-1	3,04	14,00
2	1	-1	3,61	14,00
3	-1	1	3,04	26,00
4	1	1	3,61	26,00
5	0	0	3,32	20,00
6	0	0	3,32	20,00
7	0	0	3,32	20,00
8	-1,41	0	2,93	20,00
9	1,41	0	3,72	20,00
10	0	-1,41	3,32	11,60
11	0	1,41	3,32	28,40

#### 4.4 Condução do experimento

Os biodigestores foram alimentados de forma semicontínua, uma vez ao dia, de acordo com a concentração de STV<sub>adicionados</sub> e o TRH de cada tratamento. A quantidade de CF necessária era quantificada com uma proveta, de acordo com a sua densidade. Elaborou-se uma planilha para determinação da massa de CF a ser diluída para a alimentação diária, com base nos TRH's e nos STV<sub>adicionados</sub>.

Após reinoculação e estabilização do processo, foram avaliados diariamente os teores de ST, STV e DQO. Para monitoramento do processo, semanalmente foram analisados o pH e a relação AV/AT. A estabilização foi considerada obtida quando a eficiência de remoção de ST, STV e a DQO estava dentro do CEQ. O valor médio do período em que os biodigestores ficaram dentro do CEQ foi adotado como resultado do tratamento, o qual foi avaliado com o DCCR (2<sup>2</sup>). Os parâmetros físico-químicos seguiram as metodologias das fontes descritas na Tabela 3.

**Tabela 3** Métodos utilizados para analisar os parâmetros físico-químicos

Parâmetros físico-químicos	Metodologia
Sólidos totais	Método 2540B (APHA, 1998)
Sólidos totais voláteis	Método 2540E (APHA, 1998)
Demanda química de oxigênio	Método 5220D (APHA, 1998)
Metais	Método 3111A (APHA, 1998)
Nitrogênio total Kjeldahl	Método 4800C (APHA, 1998)
pH, Acidez Volátil e Alcalinidade Total	(SILVA, 1977)
Fósforo	Método 4500P E (APHA, 1998)
Carbono	Estimado pela DQO (Kiehl, 1985)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização

As características dos substratos estão apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4** Caracterização inicial dos nutrientes do IN, do RIN, CF1 e CF2

Substratos	NTK	P	K (g/100 g ST)	Ca	Mg	Na	pH
IN	4,01	0,87	5,25	0,95	0,80	0,69	6,27
RIN	2,90	0,83	2,17	0,56	1,59	0,60	5,99
CF1	2,94	3,68	18,48	2,25	5,95	2,31	7,16
CF2	3,58	3,13	9,84	4,00	6,56	2,91	8,83
Substratos	Mn	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu	C (%)	ST (%)	STV (%)	DQO (g kg <sup>-1</sup> )
IN	469,78	367,58	73,00	12,00	21,12	98,95	323,64
RIN	540,70	210,68	0,00	10,70	17,53	73,29	286,10
CF1	303,75	4444,95	831,18	10,90	80,33	77,47	290,60
CF2	293,10	3782,48	457,69	13,51	79,48	68,23	360,24

O percentual de IN (v/v) adicionado na inoculação (10%) e na reinoculação (6%) pode ter sido pequeno pelo fato dos biodigestores não terem produzido metano. Isto pode também ter deixado os biodigestores vulneráveis pelo número não significativo de arqueas metanogênicas relacionado ao tempo de adaptação das mesmas.

Yetilmezsoy e Sakar (2008) obtiveram bom desempenho dos biodigestores de seu estudo e explicam que pode ser devido à boa qualidade do seu inóculo, oriundo de uma destilaria; eles acreditam que a proporção inoculada de 30% (v/v) foi responsável pelo bom processo inicial.

Santos (2001) verificou maiores reduções de STV ao inocular 5% da matéria seca do total do substrato. O autor comparou os dados acima com a proporção de 15% em ensaios de biodigestão anaeróbia da cama de frango de galpão comercial e utilizou efluente de biodigestor contínuo operado com estrume de bovinos como inóculo.

Nos ensaios iniciais com co-digestão da CF com CCA, o CCA pode ter prejudicado a metanogênese por ter 6520 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> de acidez volátil e não possuir alcalinidade. Os biodigestores acidificaram e o biogás não queimou. Tal fato demonstra que as arqueas metanogênicas são sensíveis ao pH baixo, portanto, não suportaram a taxa de produção de ácidos das bactérias acidogênicas, os quais foram responsáveis pela redução do pH do meio. No experimento de co-digestão utilizou-se a CF1 com o CCA: o emprego da CF2 poderia ter favorecido a co-digestão com seu pH.

Chernicharo (2007) considera o monitoramento do comportamento de biodigestores anaeróbios pela alcalinidade mais importante do que pelo pH, já que é indicado em escala logarítmica, logo, uma pequena redução do mesmo proporciona uma grande redução da alcalinidade.

A relação entre acidez volátil e alcalinidade total (AV/AT) é uma ferramenta importante para determinação do comportamento do biodigestor, devido à capacidade de melhor avaliar e evitar a redução do pH do meio.

Silva (1977) recomenda valores de AV/AT abaixo de 0,5 para alcançar a queima do biogás. Alcantara (2008) considerou em seu trabalho a biodigestão anaeróbia da CF estabilizada por apresentar o pH entre 8,0 e 8,4 e a relação (AV/AT) entre 0,25 e 0,30, mesmo tendo encontrado picos de produção de biogás. Porém, pode-se obter estabilidade ao operar com índices mais altos de AV/AT quando se visa apenas à remoção de matéria orgânica e trabalha-se com o biodigestor na fase acidogênica.

A composição da CF varia com o sistema de produção dos frangos, fato facilmente notado com a comparação do pH da CF1 (7,16) com o da CF2 (8,83). Turan (2009) realizou estudo com CF e citou o pH em 7,1 e Guo; Tongtavee e Labreuveux (2009) registrou pH em 8,4, notando-se também uma variação de pH do resíduo.

Devido à redução do pH e à alta relação AV/AT dos biodigestores, realizou-se a troca da CF1 pela CF2 com intuito de melhorar a biodigestão com o pH da CF2. No entanto, os biodigestores apresentaram uma redução da relação AV/AT apenas ao final do período de avaliação, conforme apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5** Caracterização dos biodigestores quanto ao pH e à relação AV/AT no período de avaliação

Dias de Operação	110		118		130		137		144		151	
	pH	AV/AT										
1	6,03	1,68	5,86	0,91	5,68	1,14	5,73	1,18	5,70	1,02	5,79	0,76
2	5,81	1,77	5,75	1,04	5,77	1,02	5,64	1,86	5,55	1,29	5,70	1,18
3	5,69	1,46	5,90	0,99	6,94	0,54	7,15	0,48	7,25	0,51	7,29	0,40
4	6,08	1,49	5,80	0,95	5,74	1,02	5,69	2,18	5,69	0,95	5,56	1,21
5	6,00	1,99	5,52	1,08	5,54	1,03	5,42	1,86	5,53	1,22	5,83	1,35
6	5,93	1,73	5,64	0,61	5,65	1,02	5,59	1,15	5,44	1,34	5,62	1,25
7	5,72	1,77	5,64	1,01	5,71	1,21	5,60	1,38	5,57	1,12	5,63	0,52
8	5,77	1,82	5,56	0,70	5,63	1,04	5,53	1,41	5,31	1,24	5,56	1,01
9	5,81	1,19	5,68	1,51	5,65	1,15	5,54	1,25	5,35	1,57	5,77	0,84
10	5,98	2,12	5,90	0,87	6,19	0,68	5,99	0,79	6,06	0,77	6,11	0,76
11	5,91	1,24	5,81	4,63	5,98	0,96	5,53	1,19	5,57	0,98	5,59	1,07

Os biodigestores foram estabilizados de acordo com o CEQ e avaliados na condição em que se encontravam (acidificados) por reduzirem significativamente a matéria orgânica da CF, objetivo deste trabalho.

Na Tabela 6, pode-se observar a caracterização do efluente dos biodigestores quanto aos nutrientes no início da avaliação e na Tabela 7, em relação ao final da avaliação.

**Tabela 6** Caracterização dos parâmetros físico-químicos das amostras do efluente final dos biodigestores no dia inicial de avaliação

Tratamentos	NTK	P	K	Ca	Mg	Na	DQO (g L <sup>-1</sup> )	C (%)
1	1,54	0,22	15,18	7,72	2,63	1,51	10,20	0,4
2	5,09	0,17	13,85	8,61	4,75	2,29	14,08	0,5
3	0,58	0,13	12,93	5,50	1,44	2,17	22,26	0,8
4	5,47	0,18	14,35	7,62	4,07	2,09	18,12	0,7
5	3,35	0,23	14,60	8,76	2,03	1,02	22,76	0,9
6	5,73	0,24	13,88	8,12	2,37	1,10	17,99	0,7
7	1,19	0,25	12,52	8,83	3,15	1,60	22,30	0,8
8	3,47	0,20	13,35	7,30	2,59	1,34	19,48	0,7
9	2,21	0,19	11,66	5,42	2,73	1,61	22,83	0,9
10	2,98	0,15	11,79	6,73	2,95	1,71	13,32	0,5
11	4,87	0,20	12,81	7,59	2,00	1,06	22,86	0,9

Tratamentos	Mn	Zn	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe	ST (%)	STV (%)	Mat. Orgânica (%)
2	2177,00	247,00	48,04	8485,00	0,93	54,42	0,58
3	428,00	550,00	96,18	9098,00	2,18	57,10	0,63
4	1666,00	341,00	30,92	10876,00	1,34	58,73	0,60
5	623,00	588,00	41,78	11127,00	2,15	65,59	0,45
6	1026,00	405,00	3,99	11780,00	1,70	59,69	0,48
7	1464,00	988,00	88,32	16413,00	1,49	55,95	0,70
8	1113,00	297,00	7,14	6713,00	1,66	61,32	0,40
9	1047,00	271,00	0,00	6905,00	1,67	61,89	0,85
10	770,00	438,00	90,41	17355,00	1,30	56,23	0,64
11	657,00	440,00	52,33	14512,00	1,91	63,67	0,83

**Tabela 7** Caracterização dos parâmetros físico-químicos das amostras do efluente final dos biodigestores no dia final de avaliação

Tratamentos	NTK	P	K	Ca	Mg	Na	DQO (g L <sup>-1</sup> )	C (%)
1	4,89	0,11	8,95	6,37	1,81	1,05	7,67	0,30
2	6,18	0,14	29,79	9,92	2,51	4,23	9,92	0,40
3	3,90	0,12	5,11	6,28	1,38	2,17	8,03	0,30
4	6,26	0,18	13,96	12,64	2,97	1,51	18,65	0,70
5	6,63	0,20	9,89	13,38	3,00	1,97	16,20	0,60
6	5,72	0,17	12,35	10,99	2,86	1,66	17,06	0,60
7	6,26	0,17	10,15	11,88	2,71	1,50	14,75	0,70
8	6,24	0,18	11,46	12,24	2,82	1,59	13,36	0,50
9	5,52	0,18	10,58	12,13	2,56	1,30	15,34	0,60
10	5,30	0,15	7,78	10,85	2,44	1,12	10,45	0,40
11	6,49	0,19	15,15	13,22	3,07	1,68	16,27	0,60

Tratamentos	Mn	Zn	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe	ST (%)	STV (%)	Mat. Orgânica (%)
2	1524,00	673,00	76,00	5216,00	2,12	65,69	0,78
3	416,00	501,00	52,00	4400,00	2,34	54,57	0,68
4	1443,00	508,00	32,00	7178,00	1,69	60,81	0,75
5	1068,00	887,00	98,00	6887,00	1,46	62,27	0,51
6	1577,00	612,00	43,00	6832,00	1,73	63,73	0,82
7	1555,00	976,00	82,00	5266,00	1,73	63,00	0,61
8	1636,00	738,00	60,00	8409,00	1,61	61,39	0,53
9	1253,00	832,00	91,00	7575,00	1,69	66,68	0,60
10	1404,00	915,00	123,00	3923,00	1,90	65,55	0,63
11	1686,00	695,00	59,00	11636,00	1,63	60,24	0,51

Os biodigestores foram caracterizados quanto aos nutrientes apenas para conhecimento das condições iniciais e finais do efluente dos biodigestores, porém para a disposição de resultados comparativos dos tratamentos, deve-se analisar por um período maior com monitoramentos intermediários no intervalo de tempo determinado.

## 5.2 Estabilização dos biodigestores

Os biodigestores foram estabilizados com o critério de que estivessem dentro do CEQ quanto à eficiência de remoção de ST, de STV e de DQO, fato que pode ser visualizado nos gráficos de controle estatístico em anexo (Figuras 9 a 41). O CEQ foi utilizado como teste de estabilidade para cada biodigestor por determinar um limite de variação com base em sua média, deixando um limite coerente com cada tratamento e padronizado.

Todos os tratamentos se encontraram dentro do CEQ por terem sido avaliados diariamente até completarem um período de 25 dias dentro do CEQ.

Na Tabela 8, encontra-se a carga orgânica volumétrica de cada tratamento:

**Tabela 8** Carga orgânica volumétrica de alimentação avaliada em cada tratamento

Tratamentos	Carga Orgânica Volumétrica (g ST $L_{\text{biod}}^{-1}$ dia <sup>-1</sup> )	Carga Orgânica Volumétrica (g STV $L_{\text{biod}}^{-1}$ dia <sup>-1</sup> )	Carga Orgânica Volumétrica (g DQO $L_{\text{biod}}^{-1}$ dia <sup>-1</sup> )
1	2,53	2,17	2,30
2	3,00	2,58	2,73
3	1,36	1,17	1,24
4	1,62	1,39	1,47
5	1,94	1,66	1,76
6	1,94	1,66	1,76
7	1,94	1,66	1,76
8	1,70	1,46	1,55
9	2,17	1,86	1,97
10	3,34	2,86	3,03
11	1,36	1,17	1,24

### 5.3 Avaliação dos biodigestores

#### 5.3.1 Controle estatístico de qualidade (CEQ)

As maiores médias das eficiências de remoção de ST (64,37%) e STV (72,38%) pelo CEQ foram encontradas no tratamento 6 (ponto central: 3,32% de STV adicionados na alimentação e 20 dias de TRH) e a maior média da eficiência de remoção de DQO (85,89%) foi encontrada com o tratamento 11 (3,32% de STV adicionados na alimentação e 11,6 dias de TRH), conforme a Tabela 9.

**Tabela 9** Eficiências médias de remoção de matéria orgânica

Tratamentos	Afl.	Efl.	Remoção	Afl.	Efl.	Remoção	Afl.	Efl.	Remoção
	(g ST)	(g ST)	(% ST)	(g STV)	(g STV)	(% STV)	(mg L <sup>-1</sup> )	(mg L <sup>-1</sup> )	(% DQO)
1	14,55	5,91	59,39	12,48	4,11	67,07	13231	2317	82,49
2	17,25	6,25	63,75	14,84	4,59	69,06	15690	3805	75,75
3	7,82	4,56	41,76	6,73	3,07	54,4	7124	1158	83,75
4	9,32	3,46	62,82	7,99	2,37	70,32	8448	1397	83,47
5	11,16	4,52	59,45	9,55	3,28	65,68	10122	1768	82,53
6	11,16	3,98	64,37	9,55	2,64	72,38	10122	1712	83,09
7	11,16	4,16	62,67	9,55	2,84	70,26	10122	1757	82,64
8	9,78	3,96	59,53	8,40	2,75	67,2	8907	1532	82,8
9	12,48	4,82	61,34	10,70	3,30	69,11	11337	1862	83,58
10	19,21	7,71	59,87	16,45	5,58	66,07	17437	3418	80,4
11	7,82	3,35	57,23	6,73	2,31	65,68	7131	1006	85,89

Em que: Afl.: Afluente; Efl.: Efluente.

Alcantara (2008) estudou a biodigestão anaeróbia da cama de frango de corte diluída em água, em biodigestor horizontal de uma fase, com 30 L de volume útil, mantido a 30 °C, carga orgânica de 1,85 g STV<sub>adicionados</sub> L<sup>-1</sup> biodigestor<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, 5,6% de STV<sub>adicionados</sub>, e obteve eficiências de remoções de 52,39% de ST e 63,66% de STV, superiores apenas em relação ao tratamento 3 (3,04% de STV adicionados na alimentação e 26 dias de TRH), porém trabalhou com 5,6% de STV<sub>adicionados</sub>.

Yetilmezsoy e Sakar (2008) avaliaram o modelo empírico do desempenho do tratamento anaeróbio da CF em biodigestor anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) (15,7 L) com diferentes condições operacionais, TRH entre 15,7 e 8,0 dias, diluição em água, taxas orgânicas de alimentação entre 0,65 e 4,257 kg de DQO por m<sup>3</sup>, pH de alimentação entre 6,68 e 7,82 e temperatura entre 30 e 35 °C e alcançaram 88,2% de remoção de DQO, próxima à máxima remoção de DQO obtida neste trabalho (85,89%).

Santos (2001), em seu experimento com biodigestão da CF, alcançou maior redução de STV com sistema em batelada (78%) que em sistema sequencial (52%) e do que este trabalho com biodigestores semicontínuos (72,38%), porém trabalhou com 7% de

STV<sub>adicionados</sub> para os sistemas em bateladas e entre 7,5 a 8,4% de STV<sub>adicionados</sub> para os sistemas sequenciais.

Augusto (2007) estudou a biodigestão anaeróbia de dejetos de galinhas poedeiras criadas em sistemas de produção automatizado (T<sub>A</sub>) e convencional (T<sub>B</sub>) em biodigestores contínuos e obteve potenciais de redução de STV na ordem de 74,07% para os dejetos do sistema T<sub>A</sub> e 79,50% para os do sistema T<sub>B</sub>. Os valores de remoção foram superiores ao deste trabalho, porém, o autor trabalhou com dejetos de galinhas poedeiras.

Costa (2009) comparou a biodigestão em batelada da CF diluída em água, água (50%) e biofertilizante oriundo de dejetos de suínos (50%) e somente biofertilizante oriundo de dejetos de suínos com 4% de ST e verificou que a CF diluída em água foi o tratamento mais eficiente quanto à remoção de ST (60,20%) e STV (67,20%), sendo pouco inferior à máxima remoção encontrada no presente trabalho.

### 5.3.2 Eficiência de remoção de ST

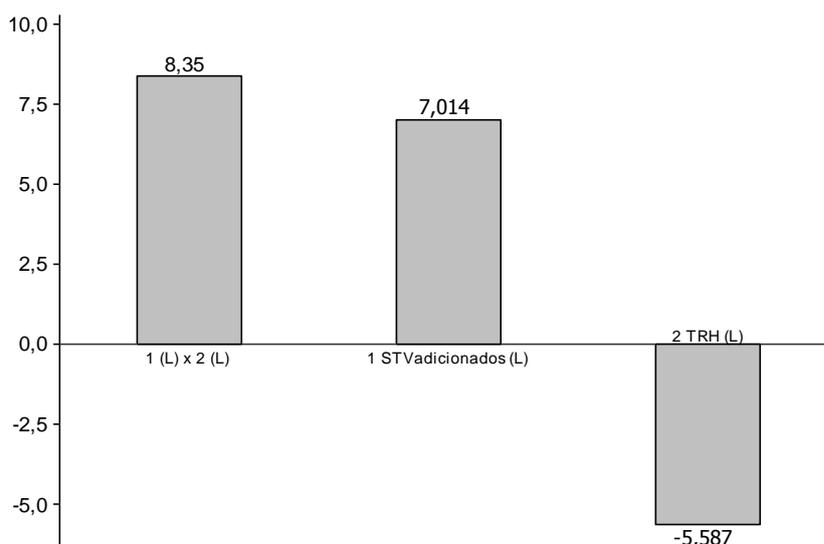
A avaliação dos biodigestores pelo DCCR gerou modelos matemáticos e superfícies de resposta com o efeito das variáveis analisadas e significativas. Na Tabela 10, são apresentados os valores estatísticos dos efeitos estimados sobre a remoção de ST. Os efeitos das variáveis STV<sub>adicionados</sub> (linear), do TRH (linear) e da interação STV<sub>adicionados</sub> x TRH foram significativos sobre a remoção de ST em um intervalo de 90% de confiança (p-valor menor que 0,1).

**Tabela 10** Efeitos estimados para remoção de ST (%)

Parâmetros	Efeito	Erro Padrão	t	p-valor	Coefficientes
Intercepto	62,173	1,443	43,096	0,001	62,173
STV <sub>adicionados</sub> (L)	7,014	1,770	3,964	0,058	3,507
STV <sub>adicionados</sub> (Q)	-3,030	2,112	-1,435	0,288	-1,515
TRH (L)	-5,587	1,770	-3,157	0,087	-2,794
TRH (Q)	-4,926	2,112	-2,333	0,145	-2,463
STV <sub>adicionados</sub> x TRH	8,350	2,499	3,342	0,079	4,175

Em que: L: Linear; Q: Quadrático.

O diagrama de Pareto na Figura 3 ilustra a intensidade do valor absoluto do efeito estimado na remoção de ST em que a interação dos STV<sub>adicionados</sub> com o TRH e a quantidade de STV<sub>adicionados</sub> (linear) tiveram efeitos positivos sobre a remoção de ST, indicando um aumento da remoção de ST com o aumento dessas variáveis, ao contrário do TRH (linear) que teve efeito negativo.



**Figura 3** Gráfico de Pareto para os valores absolutos dos efeitos estimados das variáveis estudadas e significativas sobre a remoção de ST (%).

A partir dos coeficientes das variáveis estudadas e significativas da Tabela 10 gerou-se o modelo estatístico para a remoção de ST, apresentado na Equação 5.

$$\text{Remoção de ST (\%)} = 3,507 (\text{STV}) - 2,794 (\text{TRH}) + 4,175 (\text{STV} \times \text{TRH}) + 62,173 \quad \text{Eq. (5)}$$

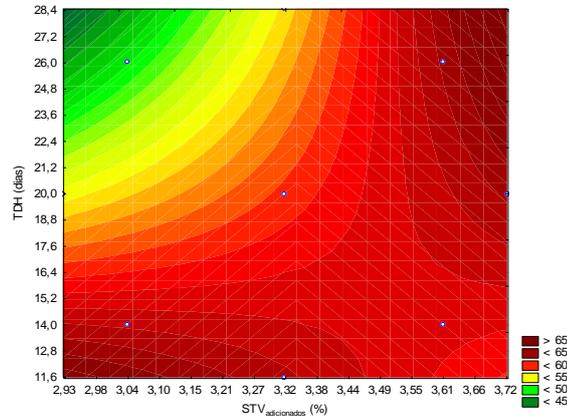
A mesma equação gerou um coeficiente de determinação  $R^2 = 0,5954$ , a qual mostra que 59,54% da variação da remoção de ST são explicados pelo modelo apresentado. A partir da análise de variância (ANOVA), verificou-se que o modelo é válido e não tem falta de ajuste dos dados para um intervalo de 90% de confiança, conforme apresentado na Tabela 11.

**Tabela 11** ANOVA do modelo linear para remoção de ST (%)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	p-valor	$F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}}$
Modelo	230,067	3	76,689	0,080	1,122
Resíduo	155,692	7	22,242		
Falta de ajuste	143,204	5	28,641	0,189	0,494
Erro puro	12,488	2	6,244		
Total	385,760	10			

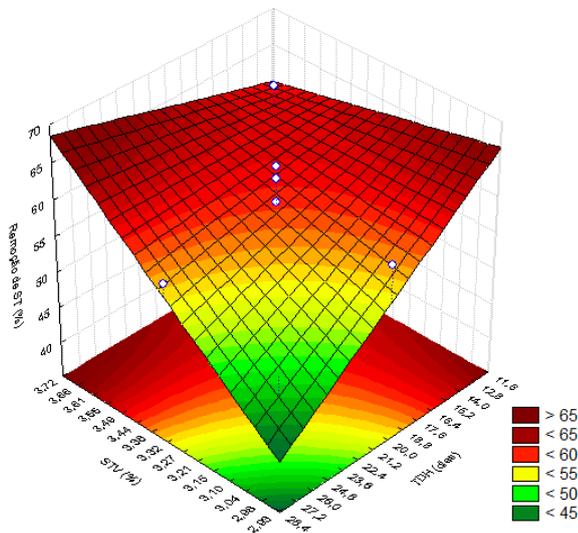
Os valores observados para remoção de ST em função dos resíduos são aleatórios e independentemente distribuídos ao redor do ponto central e os resultados estatísticos desta regressão em função dos resíduos obtiveram um ajuste satisfatório, distribuídos próximos à reta normal.

O DCCR possibilitou o estudo da influência de duas variáveis ( $STV_{\text{adicionados}}$  e TRH) na remoção de ST e a verificação da região de máxima eficiência. Para os níveis estudados, foram observadas uma região de média eficiência, entre 55 e 60%, e uma tendência para a máxima eficiência, acima de 65%, em direção aos níveis 2,93% de  $STV_{\text{adicionados}}$  e 11,6 dias de TRH e a 3,72% de  $STV_{\text{adicionados}}$  e 28,4 dias de TRH, conforme mostrado pela Figura 4.



**Figura 4** Gráfico de contorno para remoção de ST (%) em função de  $STV_{\text{adicionados}}$  e TRH

O gráfico de superfície de resposta facilita a visualização do desempenho dos tratamentos de remoção de ST e explica o modelo estatístico em uma superfície com três dimensões (Figura 5).



**Figura 5** Gráfico de superfície de resposta para remoção de ST (%) em função de  $STV_{\text{adicionados}}$  e TRH

### 5.3.3 Eficiência de remoção de STV

Na Tabela 12 estão os valores estatísticos dos efeitos estimados sobre a remoção de STV. As variáveis  $STV_{\text{adicionados}}$  e TRH estudadas não apresentaram influência significativa em um intervalo de 90% de confiança sobre a remoção de STV, assim,

impossibilitaram a geração de um modelo estatístico para remoção de STV com tais variáveis.

**Tabela 12** Efeitos estimados para remoção de STV (%)

Parâmetros	Efeito	Erro Padrão <sup>1</sup>	t	p-valor	Coefficientes
Intercepto	69,447	2,210	31,417	0,000	69,447
STV (L)	5,166	2,711	1,905	0,115	2,583
STV (Q)	-2,199	3,235	-0,680	0,527	-1,100
TRH (L)	-2,999	2,711	-1,106	0,319	-1,499
TRH (Q)	-4,493	3,235	-1,389	0,224	-2,246
STV x TRH	6,965	3,829	1,819	0,129	3,483

Em que: L: Linear; Q: Quadrático.

#### 5.3.4 Eficiência de remoção de DQO

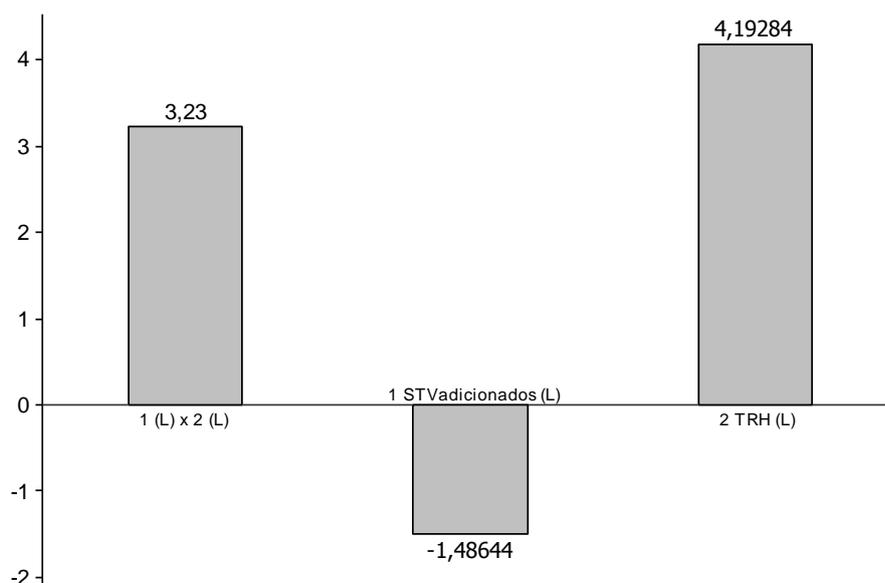
Na Tabela 13 estão apresentados os valores estatísticos dos efeitos estimados para remoção de DQO. Os efeitos das variáveis  $STV_{adicionados}$  (linear), do TRH (linear) e da interação  $STV_{adicionados} \times TRH$  foram significativos sobre a remoção de DQO em um intervalo de 90% de confiança (p-valor menor que 0,1).

**Tabela 13** Efeitos estimados para remoção de DQO (%)

Parâmetros	Efeito	Erro Padrão <sup>1</sup>	t	p-valor	Coefficientes
Intercepto	82,757	0,172	481,567	0,000	82,757
STV (L)	-1,486	0,211	-7,052	0,020	-0,743
STV (Q)	-0,473	0,252	-1,879	0,201	-0,236
TRH (L)	4,193	0,211	19,891	0,003	2,096
TRH (Q)	-0,518	0,252	-2,059	0,176	-0,259
STV x TRH	3,230	0,298	10,851	0,008	1,615

Em que: L: Linear; Q: Quadrático.

O diagrama de Pareto, na Figura 6, ilustra a intensidade do valor absoluto do efeito estimado sobre a remoção de DQO. A interação dos  $STV_{adicionados}$  com o TRH teve efeito positivo sobre a remoção de DQO, indicando um aumento da remoção com o aumento dessas variáveis, ao contrário dos  $STV_{adicionados}$  (linear) que apresentaram efeito negativo.



**Figura 6** Gráfico de Pareto para os valores absolutos dos efeitos estimados das variáveis estudadas e significativas sobre a remoção de DQO (%).

Na Equação 6 está apresentado o modelo estatístico para a remoção de DQO, gerado com os coeficientes das variáveis estudadas e significativas da Tabela 13.

$$\text{Remoção de DQO (\%)} = -0,743 (\text{STV}) + 2,096 (\text{TRH}) + 1,615 (\text{STV} \times \text{TRH}) + 82,757 \quad \text{Eq.(6)}$$

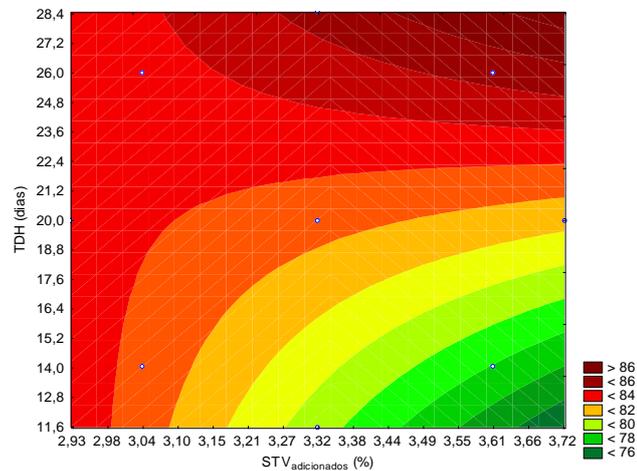
O modelo estatístico de remoção de DQO explicou 76,22% da variação da remoção de DQO por apresentar  $R^2 = 0,7622$ . A partir da análise de variância (ANOVA), verificou-se que o modelo é válido para um intervalo de 90% de confiança, mas não houve ajuste dos dados (Tabela 14).

**Tabela 14** ANOVA do modelo linear para remoção de DQO (%)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	p-valor	$F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}}$
Modelo	49,894	3	16,631	0,014	2,432
Resíduo	15,569	7	2,224		
Falta de ajuste	15,392	5	3,078	0,028	3,739
Erro puro	0,177	2	0,089		
Total	65,463	10			

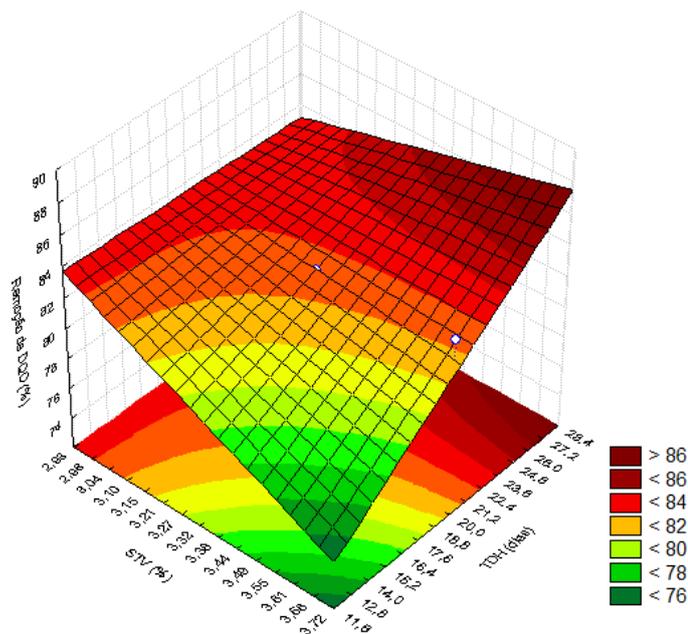
Os valores observados para remoção de ST em função dos resíduos são aleatórios e distribuídos independentemente ao redor do ponto central e os resultados estatísticos desta regressão, em função dos resíduos, obtiveram um ajuste satisfatório, distribuídos próximos à reta normal.

O DCCR possibilitou o estudo da influência das variáveis  $STV_{adicionados}$  e TRH sobre a remoção de DQO e a verificação da região de máxima eficiência. Para os níveis estudados, foi observada uma região de média eficiência, entre 82 e 84%, e uma tendência para a máxima eficiência, acima de 86%, em direção ao nível de 3,72% de  $STV_{adicionados}$  e 28,4 dias de TRH (Figura 7).



**Figura 7** Gráfico de contorno para remoção de DQO (%) em função de  $STV_{adicionados}$  e TRH.

Na Figura 8, pode-se observar o gráfico de superfície de resposta que facilita a visualização do desempenho dos tratamentos de remoção de DQO e explica o modelo estatístico em uma superfície com três dimensões.



**Figura 8** Gráfico de superfície de resposta para remoção de DQO (%) em função de  $STV_{adicionados}$  e TRH.

## 6 CONCLUSÕES

1. O CEQ é uma ferramenta estatística ideal para verificação da estabilidade de biodigestores, por determinar se a biodigestão está estável com base nos índices de eficiência produtiva e remoção de matéria orgânica de cada tratamento;
2. Pode-se remover matéria orgânica da CF com a biodigestão anaeróbia operando somente com a fase acidogênica;
3. O tratamento que levou ao melhores resultados de remoções percentuais de ST e STV foi o tratamento do ponto central do DCCR (3,32% de STV<sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH), com valores médios de remoção de 62,16% de ST, 69,44% de STV e 82,75% de DQO;
4. O modelo significativo mais representativo foi o de remoção de DQO por explicar 76,22% da variação dos tratamentos na remoção de DQO. Tendo em vista que a análise de DQO demanda menos tempo que a análise de sólidos, o modelo de remoção de DQO é de alta praticidade no tratamento da CF com a biodigestão anaeróbia;
5. Os biofertilizantes obtidos nos diferentes tratamentos estudados têm aplicação direta em solos para adubação de culturas, com valores médios de macronutrientes principais de 5,76% de N, 0,16% de P, 12,29% de K.

## 7 REFERÊNCIAS

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: American Public Health Association, 1998.

APPELS, L.; BAEYENS, J.; DEGRÈVE, J.; DEWIL, R. Principle and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. **Progress in Energy and Combustion Science**, Rio de Janeiro, v. 34, p. 755-781, 2008.

AUGUSTO, Karolina V. Z. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia**. 2007. 58 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

ALCANTARA, M. S. **Estabilidade de biodigestor horizontal de fluxo contínuo no tratamento da cama de frangos de corte**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2008.

ALCANTARA, M. S.; GOMES, S. D.; TAVARES, M. H. F.; PEGORARO, T. Horizontal biodigester behavior at poultry litter treatment. RAMIRAN INTERNATIONAL CONFERENCE, 14, 2010, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa, Portugal: RAMIRAN, 2010. CD-ROM.

BARBOSA, H. C. A. L.; RAMIRO, D. A. Biotecnologia na agricultura. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 70, p. 149-164, 2010.

BOONAPATCHAROEN, N.; MEEPIAN, K.; CHAI PRASERT, P.; TECHKARNJANARUK, S. Molecular monitoring of microbial population dynamics during operational periods of anaerobic hybrid reactor treating cassava starch wastewater. **Microbial Ecology**, Nova York, v. 54, n. 1, p. 21-30, 2007.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N; MELLO, C. R. de; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 277-289, 2010.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios, Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 5a. Ed. Belo Horizonte: EdUFMG, 2007.

CHOI, I. H.; MOORE, P. A. J. Effect of Various Litter Amendments on Ammonia Volatilization and Nitrogen Content of Poultry Litter. **Poultry Science Association**, Beekbergen, v. 17, n. 4, p. 454-462, 2008.

COSTA, L. V. C. da. **Biodigestão anaeróbia da cama de frango associada ou não ao biofertilizante obtido com dejetos de suínos: produção de biogás e qualidade do biofertilizante**. 2009. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal – SP, 2009.

CUNICO, M. W. M.; CUNICO, M. M.; MIGUEL, O. G.; ZAWADZKI, S. F.; PERALTA-ZAMORA, P.; VOLPATO, N. Planejamento fatorial: uma ferramenta estatística valiosa para a definição de parâmetros experimentais empregados na pesquisa científica. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 23-32, 2008.

DIAS, F. L. C.; SOUZA, J. G. de. Impacto da política cambial nas exportações de frango após a implantação do plano real (1994-2004). In: CONGRESSO DA SOBER, 44, 2006, Fortaleza – CE. **Anais...** Brasília – DF: SOBER, 2006.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. In: Production – livestock primary. **Banco de dados FAOSTAT**.2011. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/569/DesktopDefault.aspx?PageID=569#ancor>>. Acesso em: 18 jan. 2011.

GUO, M.; TONGTAVEE, N.; LABREVEUX, M. Nutrient dynamics of field-weathered Delmarva poultry litter: implications for land application. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 45, n. 8, p. 829-838, 2009.

HAHN, Leandro. **Processamento da cama de aviário e suas implicações nos agroecossistemas**. 2004. 17 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2004.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. In: Pesquisa Trimestral de abate de animais - Resultados Mensais. **Banco de dados SIDRA**. 2011. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1094&z=t&o=23>>. Acesso em: 18 jan. 2011.

KACPRZAK, A.; KRZYTEK, L.; LEDAKOWICZ, S. L. Co-digestion of agricultural and industrial wastes. **Chemical Papers**, Bratislava, v. 64, n. 2, p. 127-131, 2010.

KELLEHER, B. P.; LEAHY, J. J.; HENIHAM, A. M.; O'DWYER, T. F.; SUTTON, D.; LEAHY, M. J. Advances in poultry litter disposal technology – a review. **Bioresource Technology**, Maryland Heights, v. 83, p. 27-36, 2002.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Editora Agronômica Ceres, São Paulo. 1985.

KIEHL, E. J. **Novo fertilizantes orgânicos**. Editora Degaspari, Piracicaba, SP. 2010.

MATEUS, N. B.; BARBIN, D.; CONAGIN, A. Viabilidade de uso do delineamento composto central. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 6, p. 1537-1546, 2001.

MEDEIROS, R.; SANTOS, B. J. M.; FREITAS, M.; SILVA, O. A.; ALVES, F. F.; FERREIRA, E. A adição de diferentes produtos químicos e o efeito da umidade na volatilização de amônia em cama de frango. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2321-2326, 2008.

MINITAB. Minitab for Windows - version 15.0. PA, USA: State College: Programa estatístico.

MONTGOMERY, D.C.; **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. Editora: Livros Técnicos e Científicos - LTC, 4 ed., Rio de Janeiro, 2009.

MOURA, D. J. de; BUENO, L. G. de F.; LIMA, K. A. O. de; CARVALHO, T. M. R. de; MAIA, A. P. de A. M. Strategies and facilities in order to improve animal welfare. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. supl., p. 311-316, 2010.

NÄÄS, I. de A.; **O papel da zootecnia de precisão na obtenção de alimentos de melhor qualidade**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 4, 2007, Viçosa - MG. **Anais...** Viçosa – MG: SIAP, 2007.

NAMIUCHI, N. N. **Biodigestão anaeróbia e características da cama de frangos obtida sob diferentes quantidades iniciais de casca de arroz e três tipos de cobertura de galpões em Dourados MS**. 2002. 7 f. Tese (Doutorado em Agronomia em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu - SP, 2002.

OLIVEIRA, M. C. de; ALMEIDA, C. V.; ANDRADE, D. O.; RODRIGUES, S. M. M. Teor de matéria seca, pH e amônia volatilizada da cama de frango tratada ou não com diferentes aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 951-954, 2003.

OVIEDO-RONDÓN, E. O. Technologies to mitigate the environmental impact of broiler production. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. especial, p. 239-252, 2008.

PERALTA-ZAMORA, P.; MORAIS, J. L. de; NAGATA, N. Por que otimização multivariada? **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 106-110, 2005.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA A. F. **Planejamento de experimentos & otimização de processos**. 2ª. Ed. Campinas, 2009.

SANTOS, C. A. dos. **A relação entre conceitos ecológicos e biosseguridade em granjas de aves reprodutoras de corte**. 2006. Trabalho de Conclusão do Curso (Pós-Graduação em Controle de Qualidade de alimentos) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR, 2006.

SANTOS, T. M. B. **Balanco energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte**. 2001. Tese (Doutorado em Zootecnia – Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal – SP, 2001.

SILVA. Manoel Osvaldo Senra Álvares. Análises Físico-Químicas para Controle das Estações de Tratamento de Esgotos, CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1977, p. 121 a 131.

StatSoft. Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system). Versão 7.0.

www.statsoft.com.

TESSARO, A. A. **Potencial energético da cama de aviário produzida na região Sudoeste do Paraná utilizada como substrato para a produção de biogás.** 2011. Dissertação (Mestrado Profissional - Desenvolvimento de Tecnologia), Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC, Instituto de Engenharia do Paraná - IEP, Curitiba - PR, 2011.

TIQUIA, S. M. e TAM, N. F. Y. Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. **Process Biochemistry**, Maryland Heights, v. 37, n. 8, p. 869-880, 2002.

TURAN, N. G. Nitrogen availability in composted poultry litter using natural amendments. **Waste Management Research**, Vienna, v. 27, n. 1, p. 19-24, 2009.

VILAS BOAS, E. B. B. **Estudo da qualidade da matéria-prima de uma fábrica de ração para frangos de corte utilizando cartas de controle e técnicas Taguchi de custo mínimo.** 2005. 2 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo - PR, 2005.

YETILMEZSOY, K. e SAKAR, S. Development of empirical models for performance evaluation of UASB reactors treating poultry manure wastewater under different operational conditions. **Journal of Hazardous Materials**, Maryland Heights, v. 153, n. 1-2, p. 532-543, 2008.

ZANUSSO, J. T. e DIONELLO, N. J. L. Produção avícola alternativa - análise dos fatores qualitativos da carne de frangos de corte tipo caipira. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 3, p. 191-194, 2003.

## ANEXOS

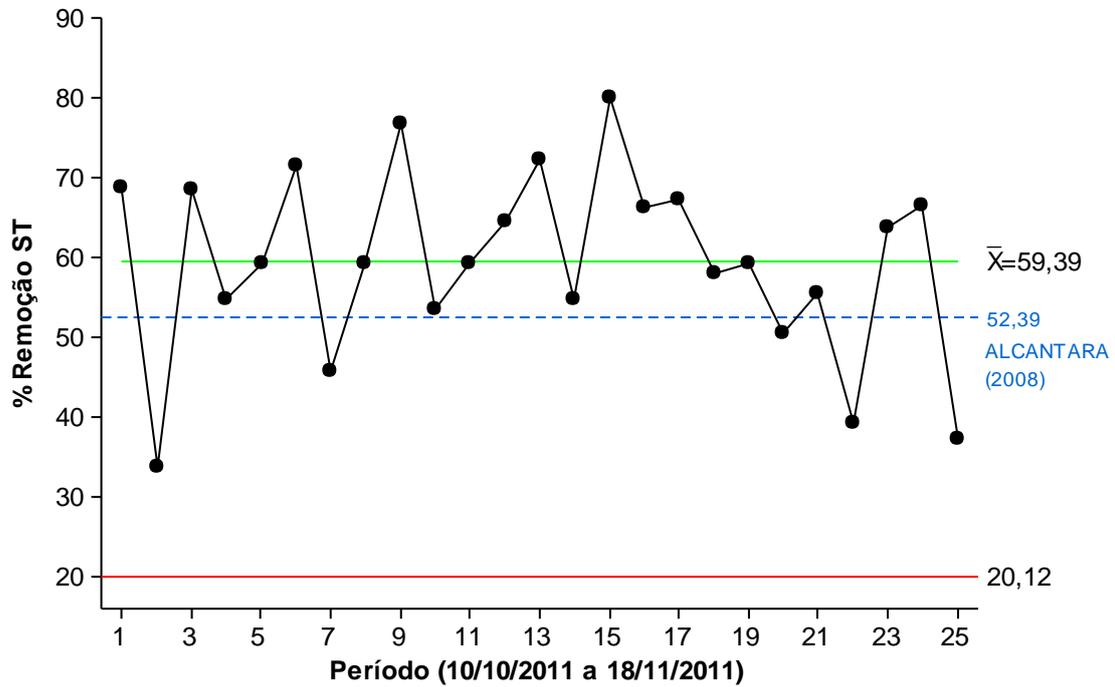


Figura 9 Tratamento 1: 3,04% de STV<sub>adicionados</sub> e 14 dias de TRH.

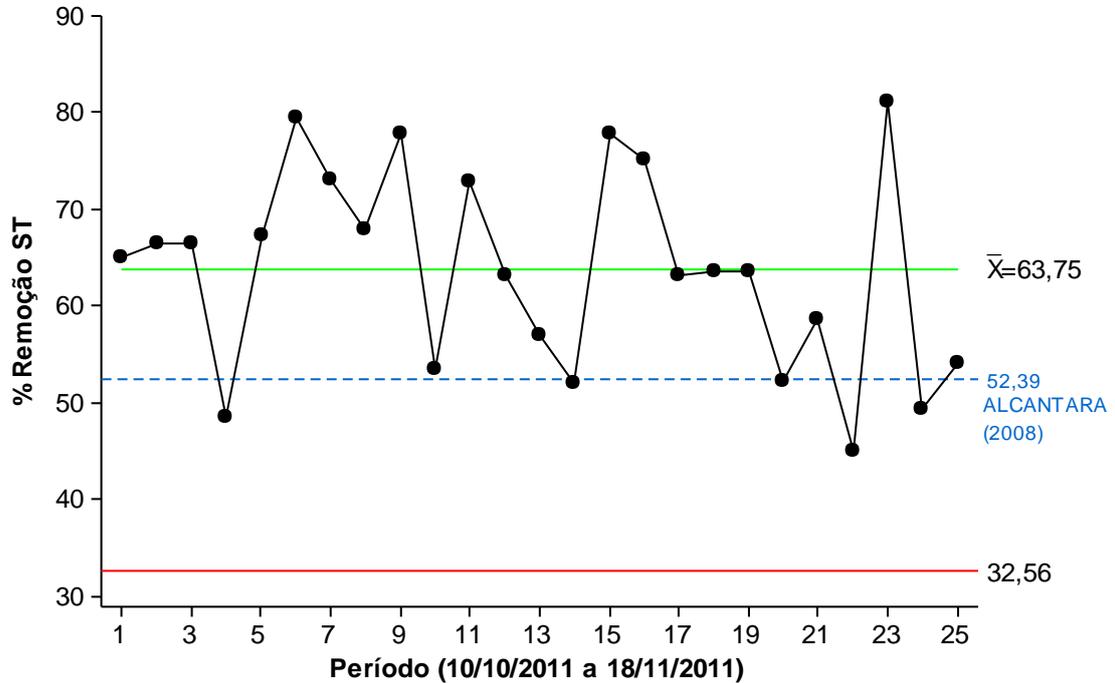


Figura 10 Tratamento 2: 3,61% de STV<sub>adicionados</sub> e 14 dias de TRH.

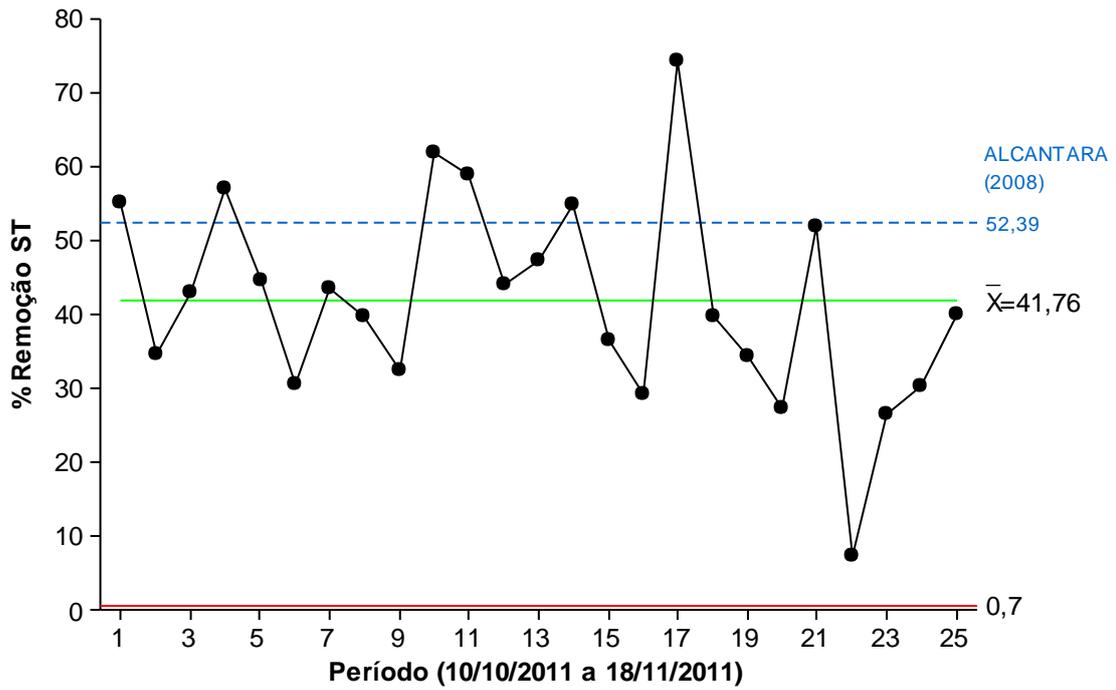


Figura 11 Tratamento 3: 3,04% de STV<sub>adicionados</sub> e 26 dias de TRH.

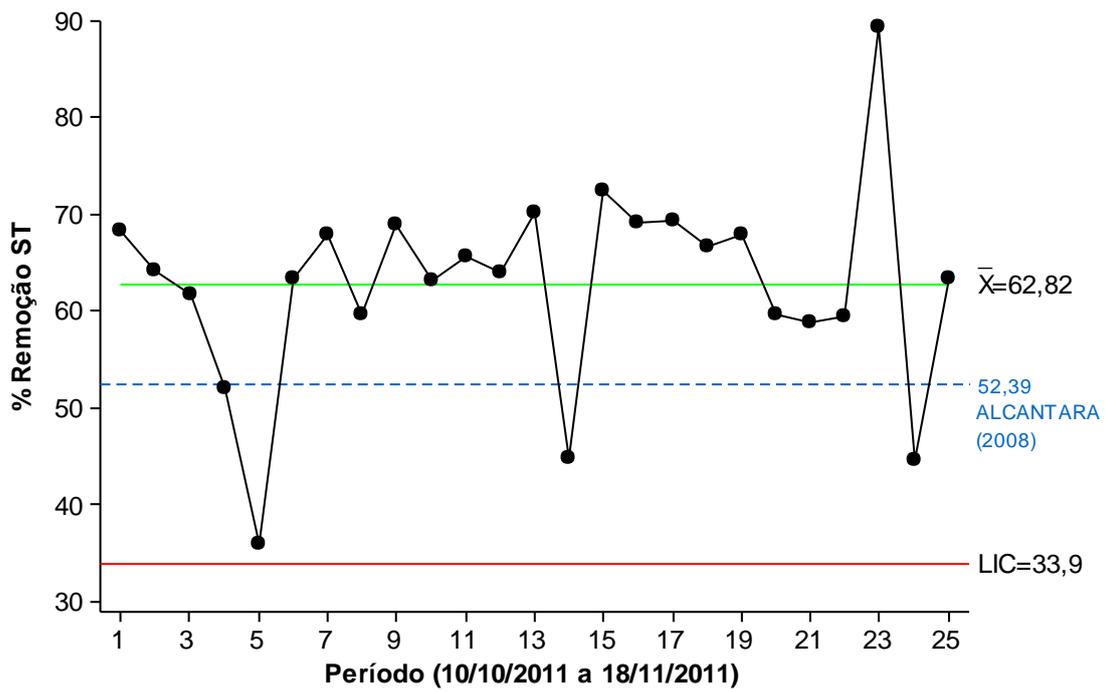


Figura 12 Tratamento 4: 3,61% de STV<sub>adicionados</sub> e 26 dias de TRH.

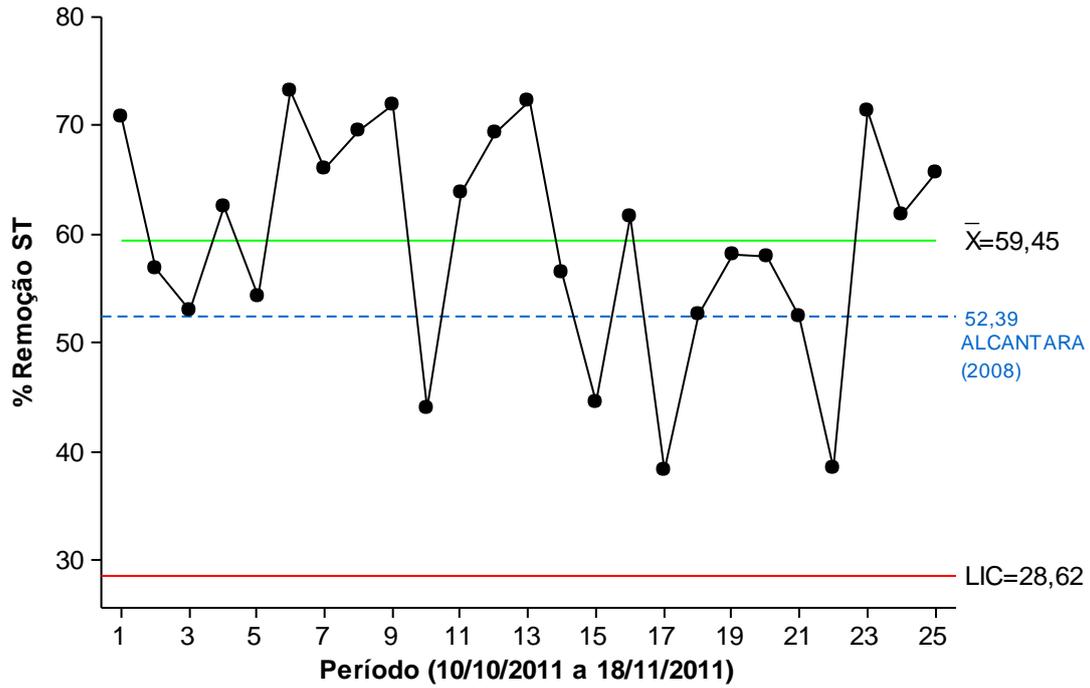


Figura 13 Tratamento 5: 3,32% de STV<sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.

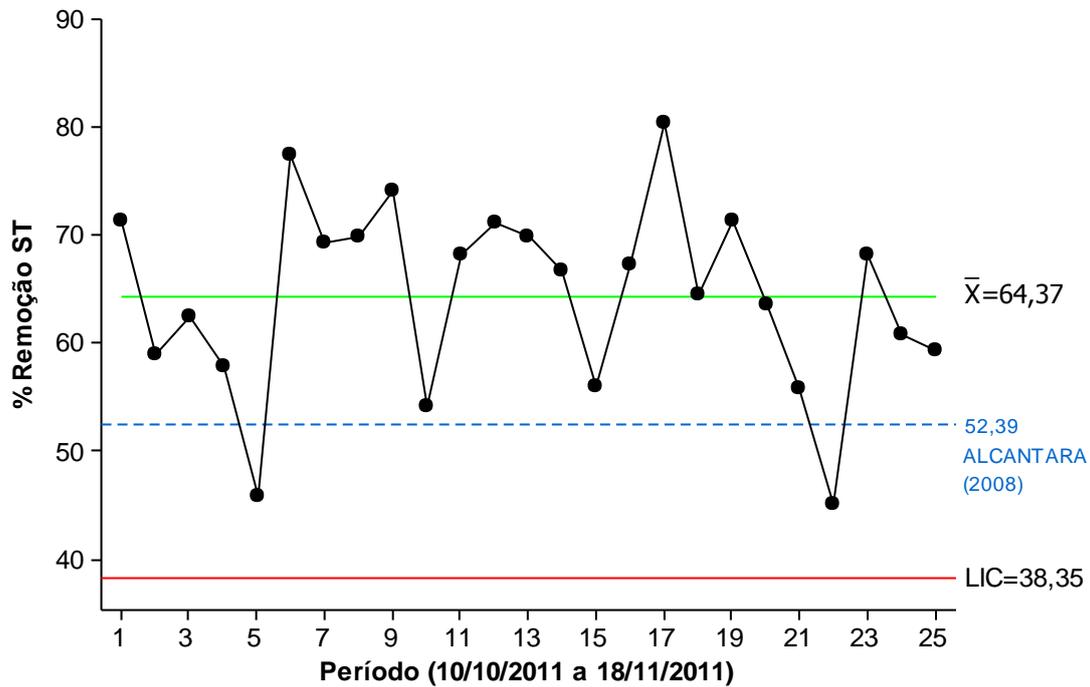


Figura 14 Tratamento 6: 3,32% de STV<sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.

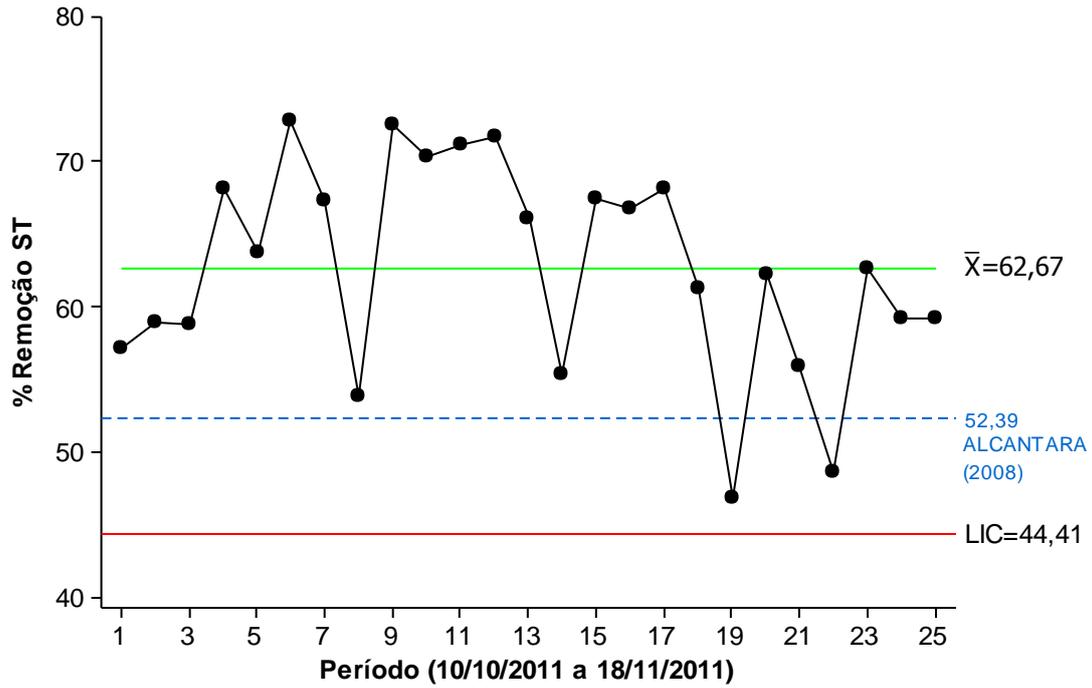


Figura 15 Tratamento 7: 3,32% de STV<sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.

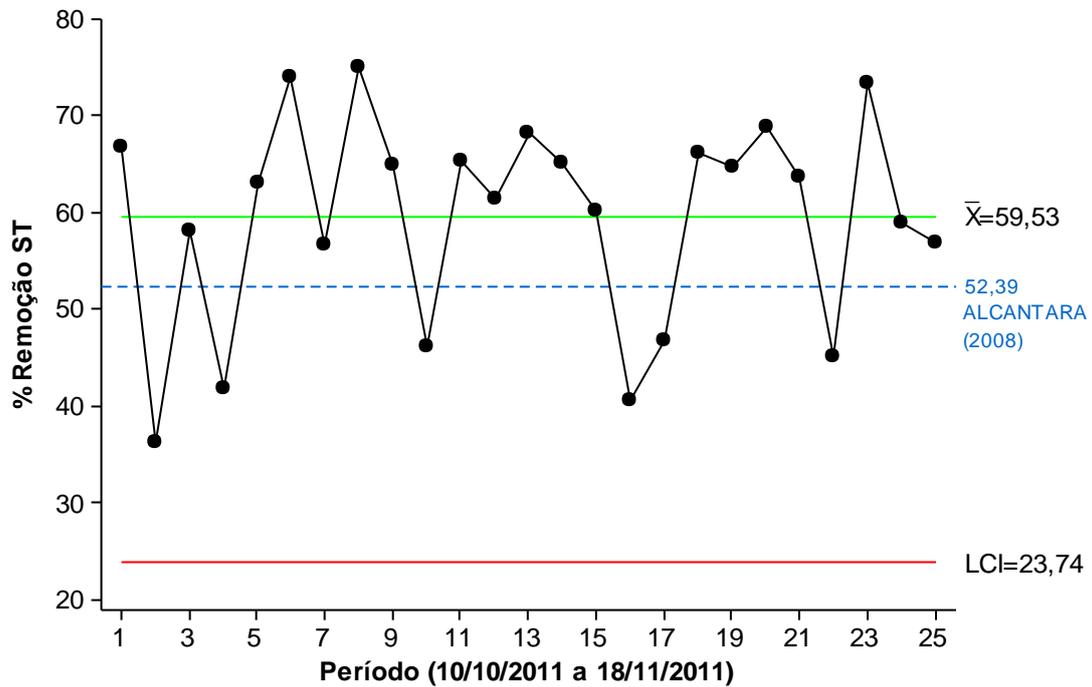


Figura 16 Tratamento 8: 2,93% de STV<sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.

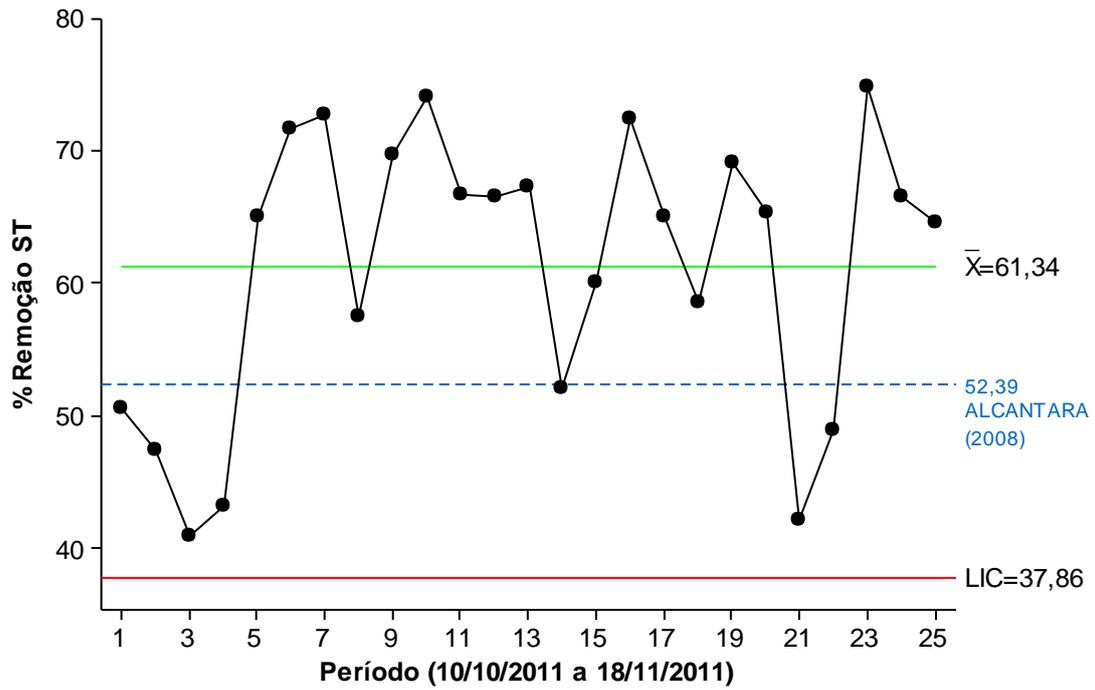


Figura 17 Tratamento 9: 3,72% de STV<sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.

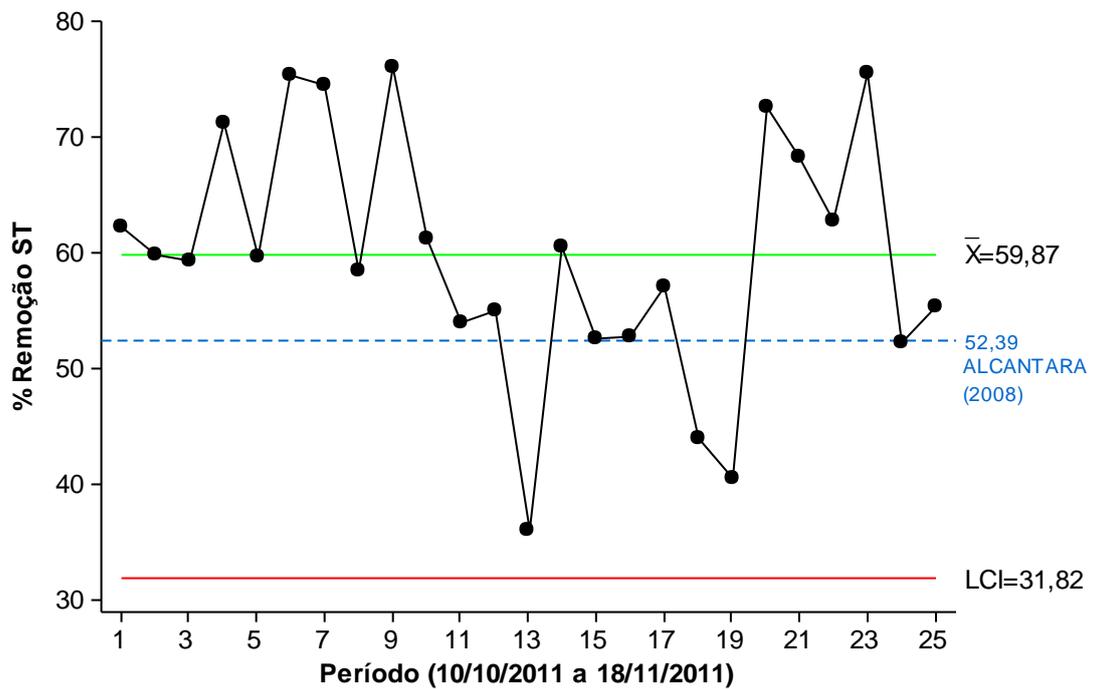


Figura 18 Tratamento 10: 3,32% de STV<sub>adicionados</sub> e 11,61 dias de TRH.

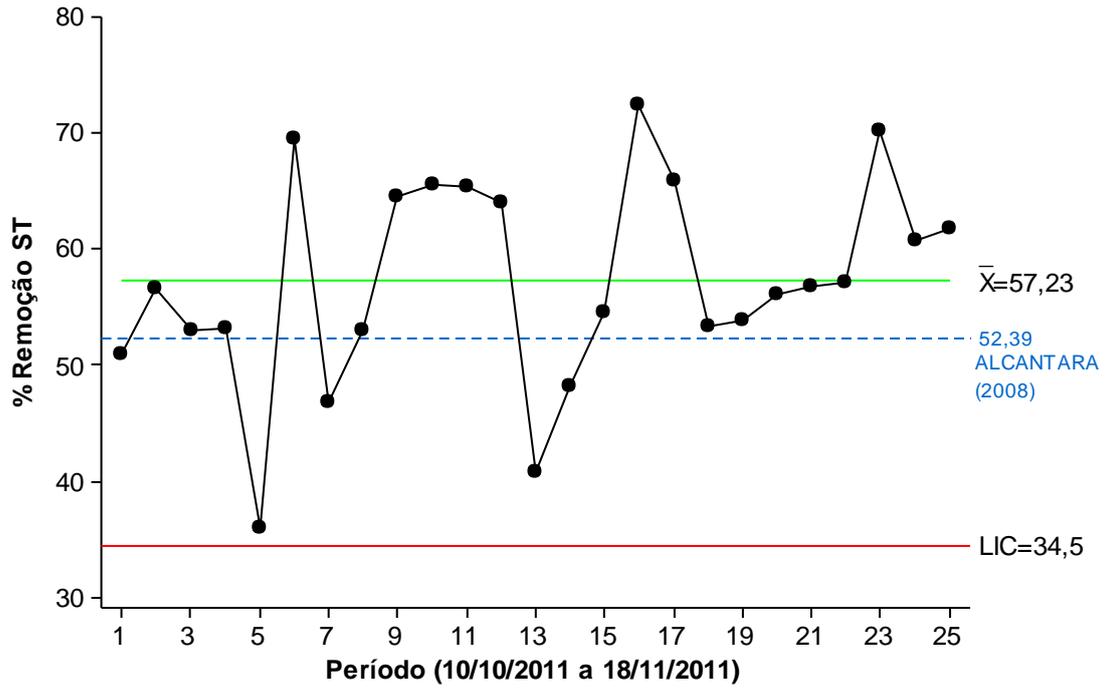


Figura 19 Tratamento 11: 3,32% de STV<sub>adicionados</sub> e 28,39 dias de TRH.

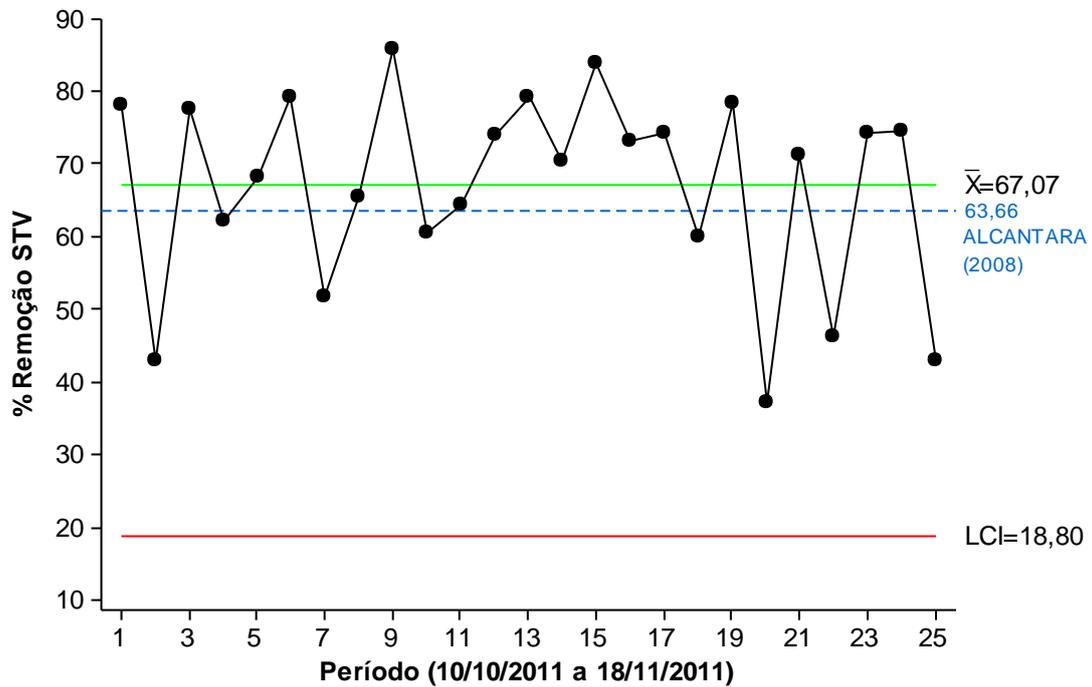


Figura 20 Tratamento 1: 3,04% de STV<sub>adicionados</sub> e 14 dias de TRH.

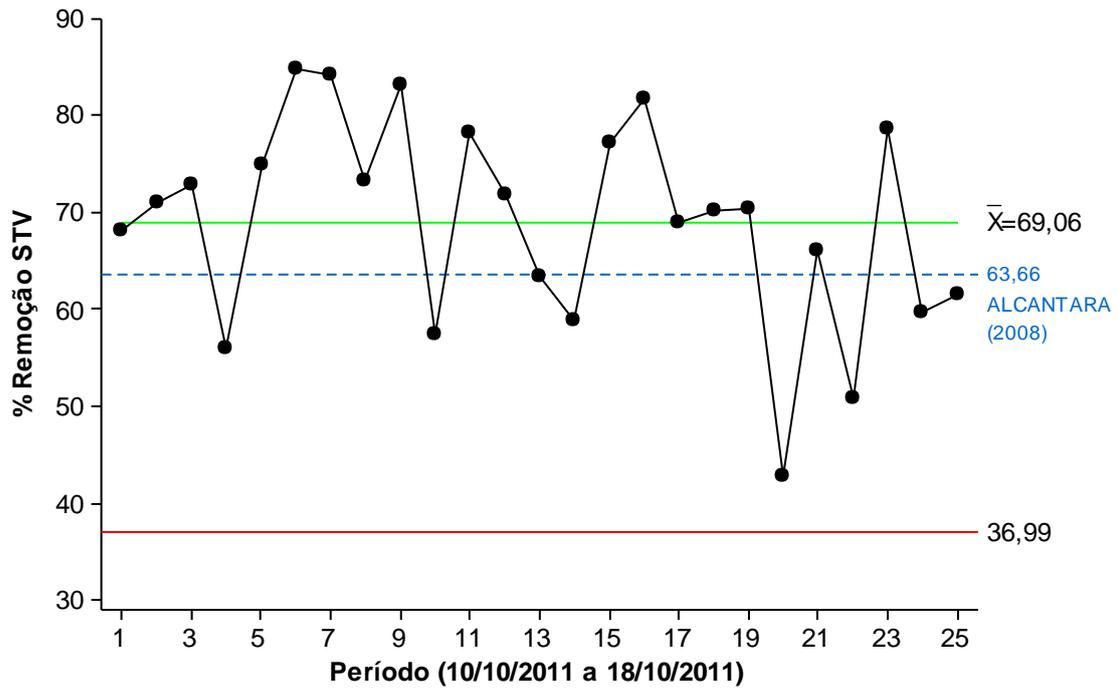


Figura 21 Tratamento 2: 3,61% de STV<sub>adicionados</sub> e 14 dias de TRH.

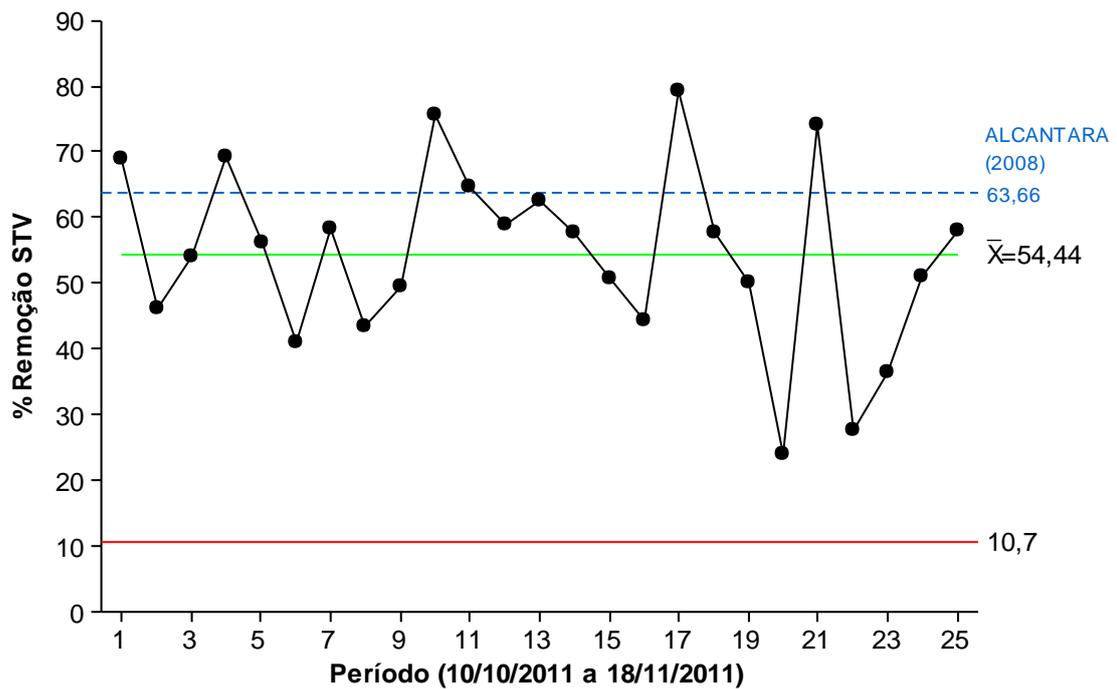


Figura 22 Tratamento 3: 3,04% de STV<sub>adicionados</sub> e 26 dias de TRH.

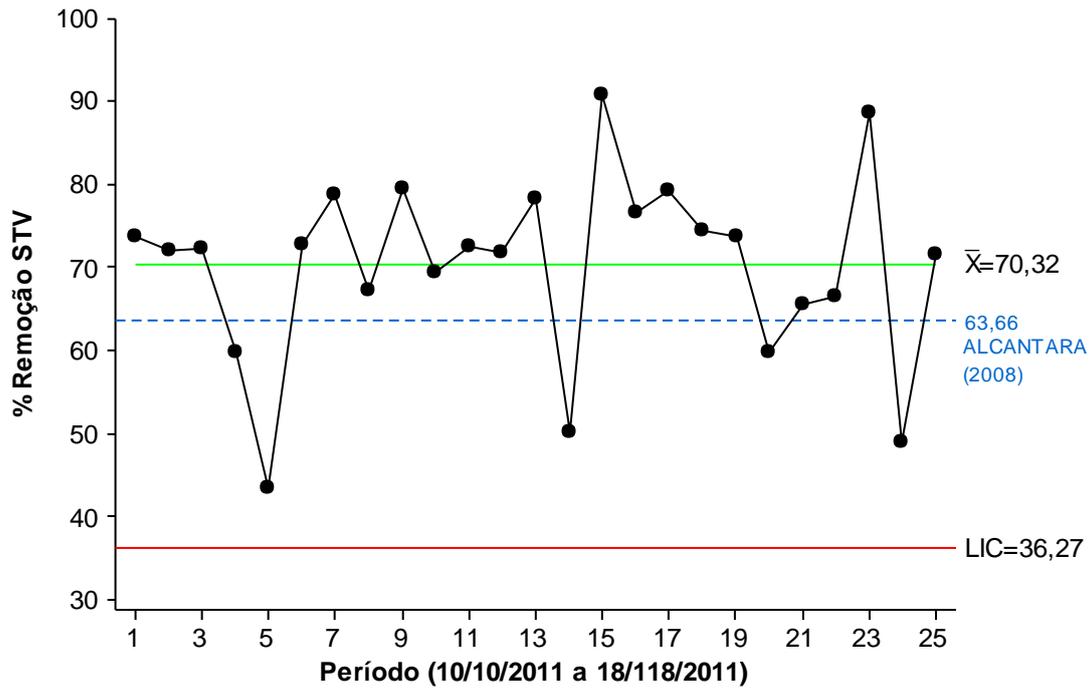


Figura 23 Tratamento 4: 3,61% de STV<sub>adicionados</sub> e 26 dias de TRH.

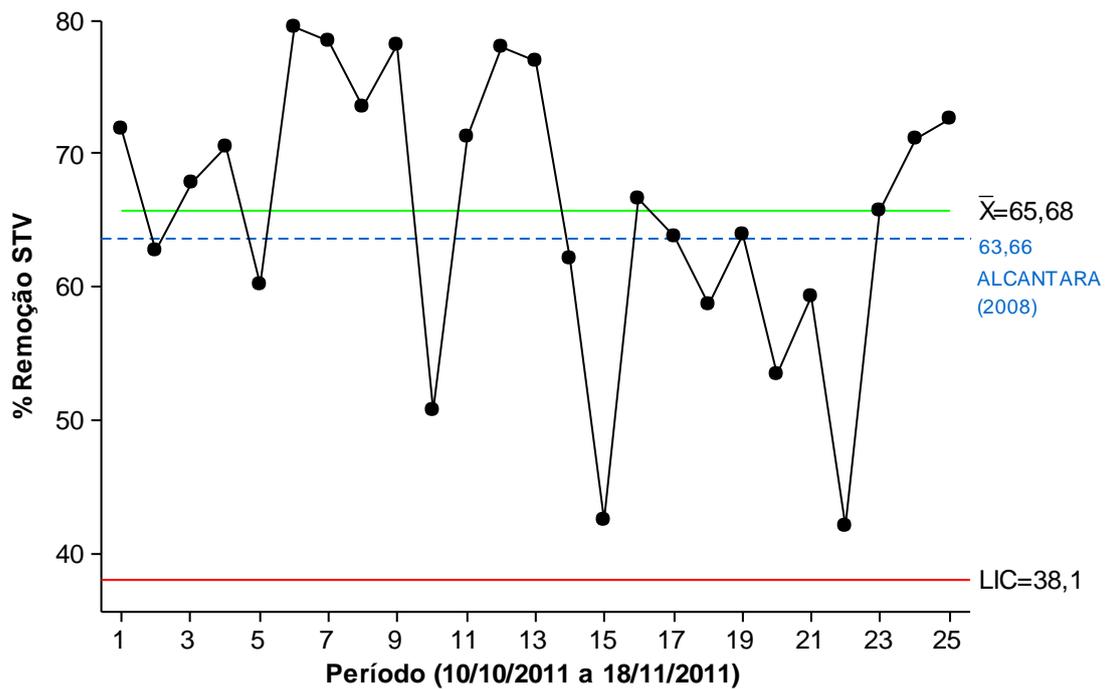


Figura 24 Tratamento 5: 3,32% de STV<sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.

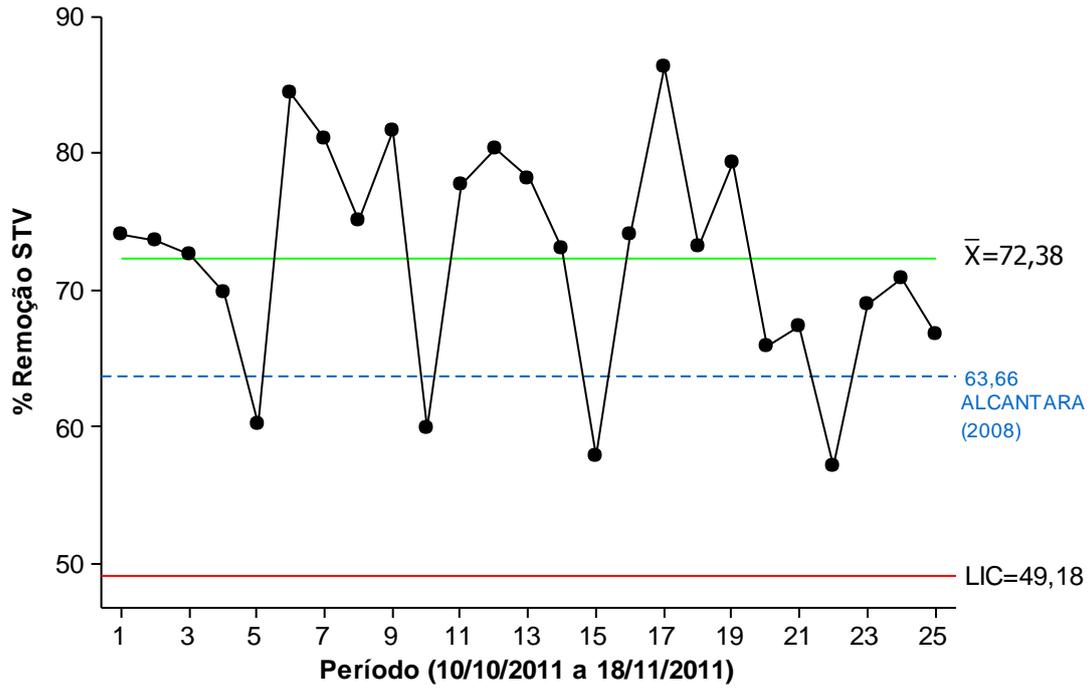


Figura 25 Tratamento 6: 3,32% de STV<sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.

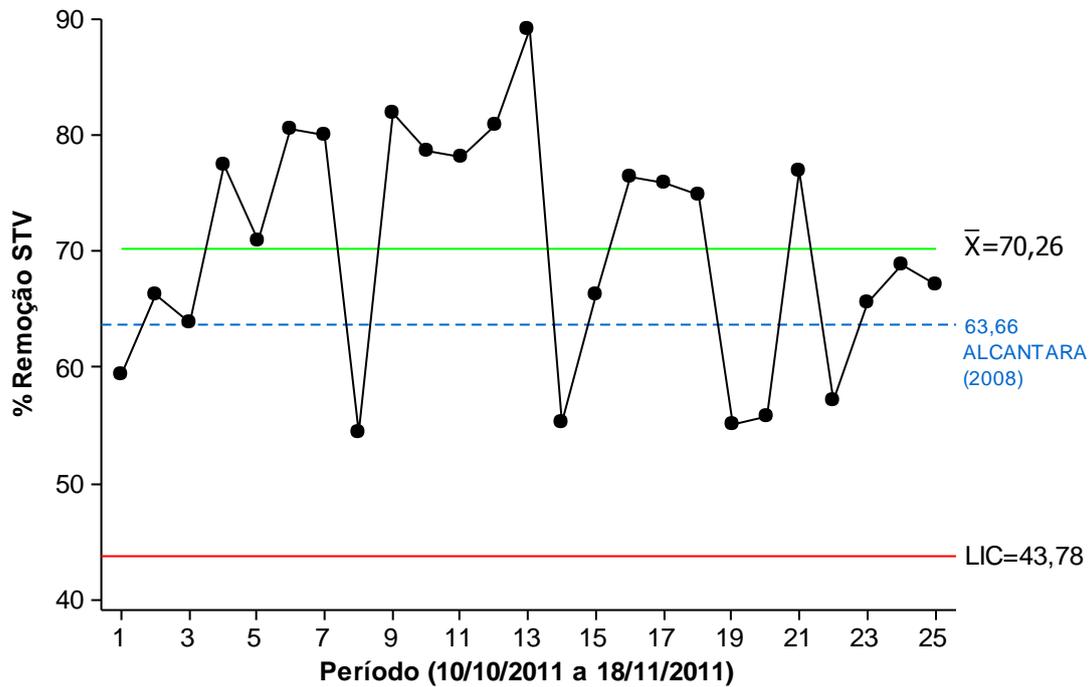


Figura 26 Tratamento 7: 3,32% de STV<sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.

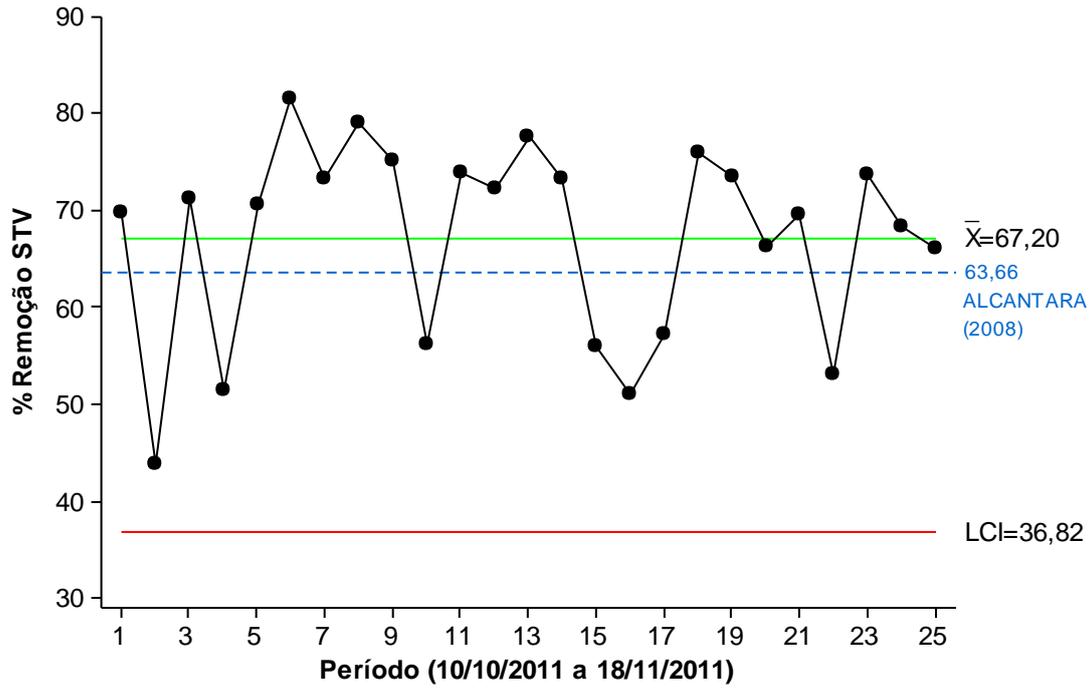


Figura 27 Tratamento 8: 2,93% de STV<sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.

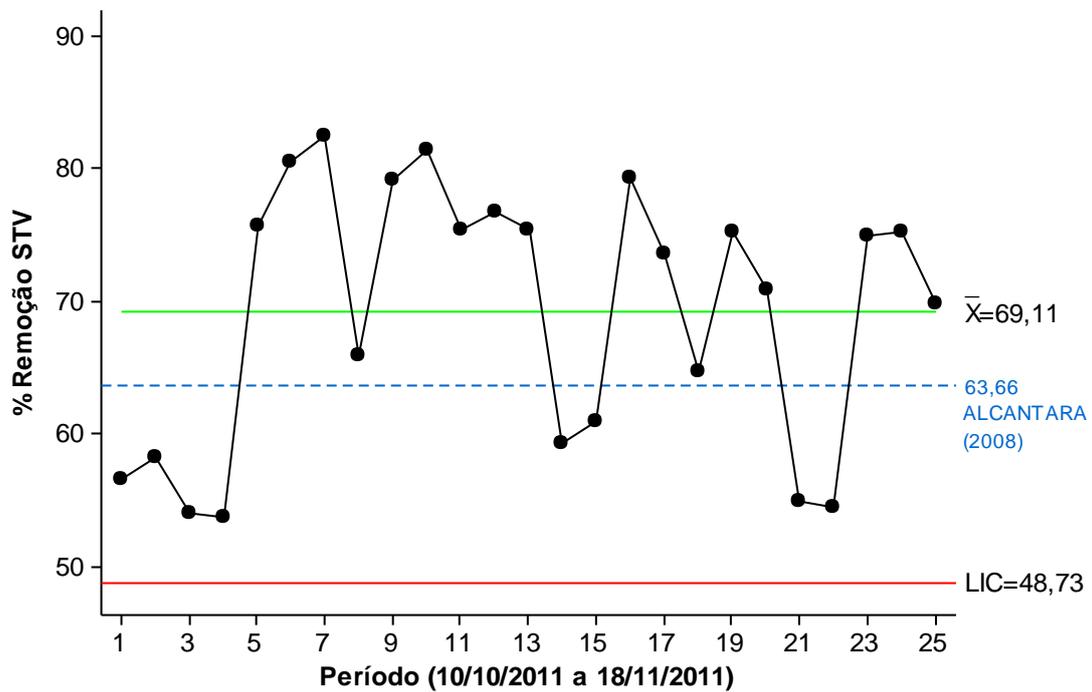


Figura 28 Tratamento 9: 3,72% de STV<sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.

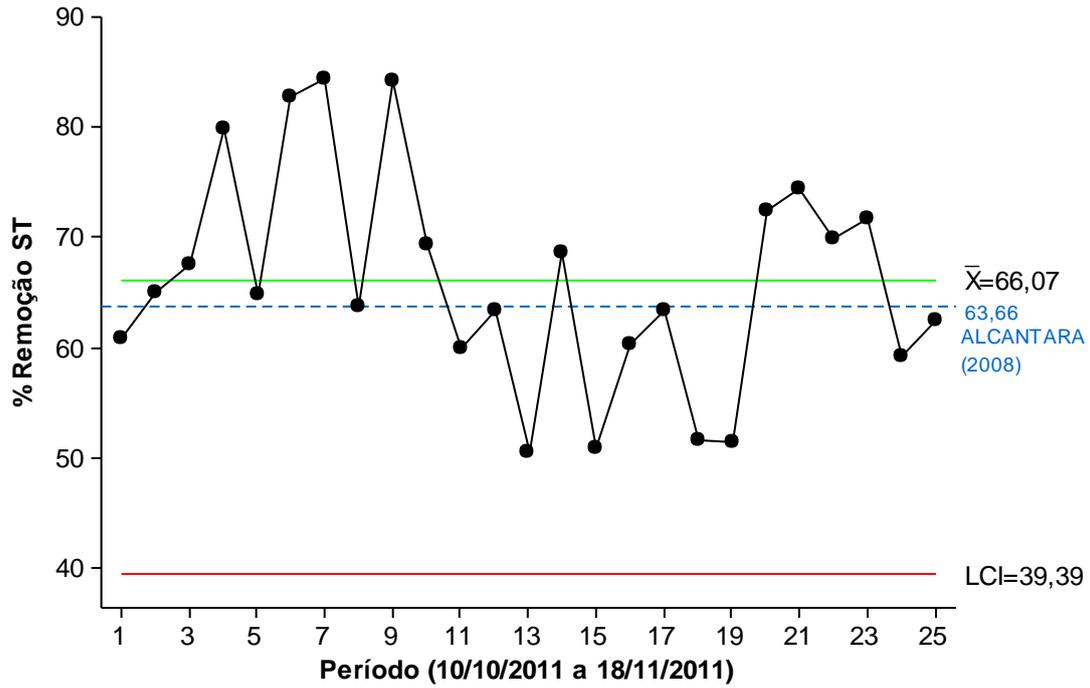


Figura 29 Tratamento 10: 3,32% de STV<sub>adicionados</sub> e 11,61 dias de TRH.

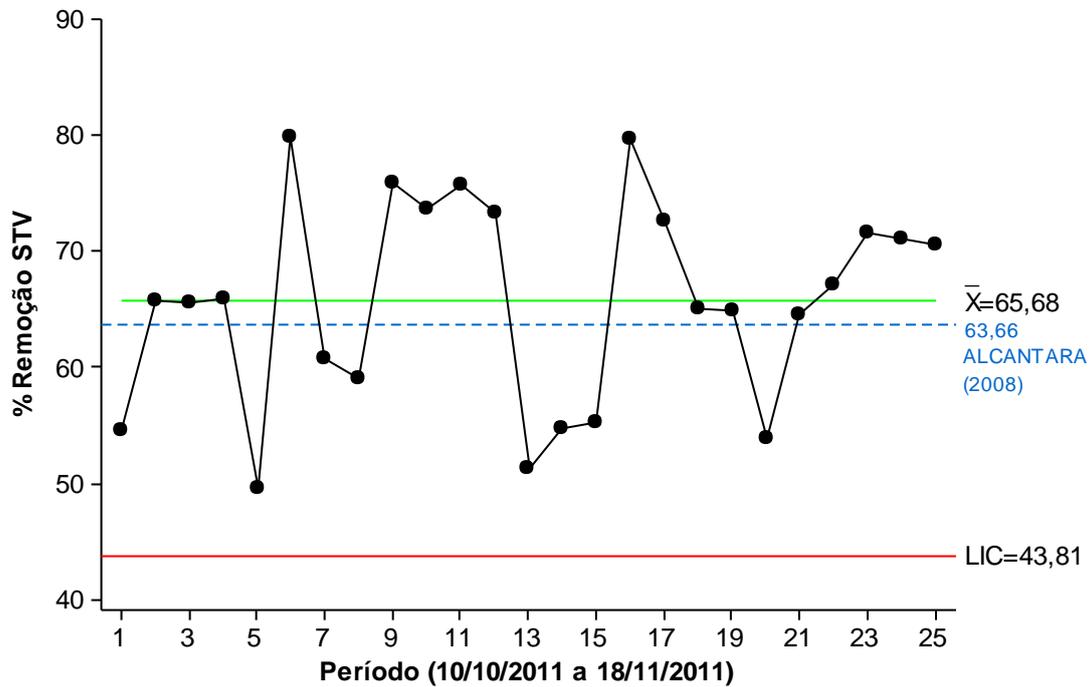


Figura 30 Tratamento 11: 3,32% de STV<sub>adicionados</sub> e 28,39 dias de TRH.

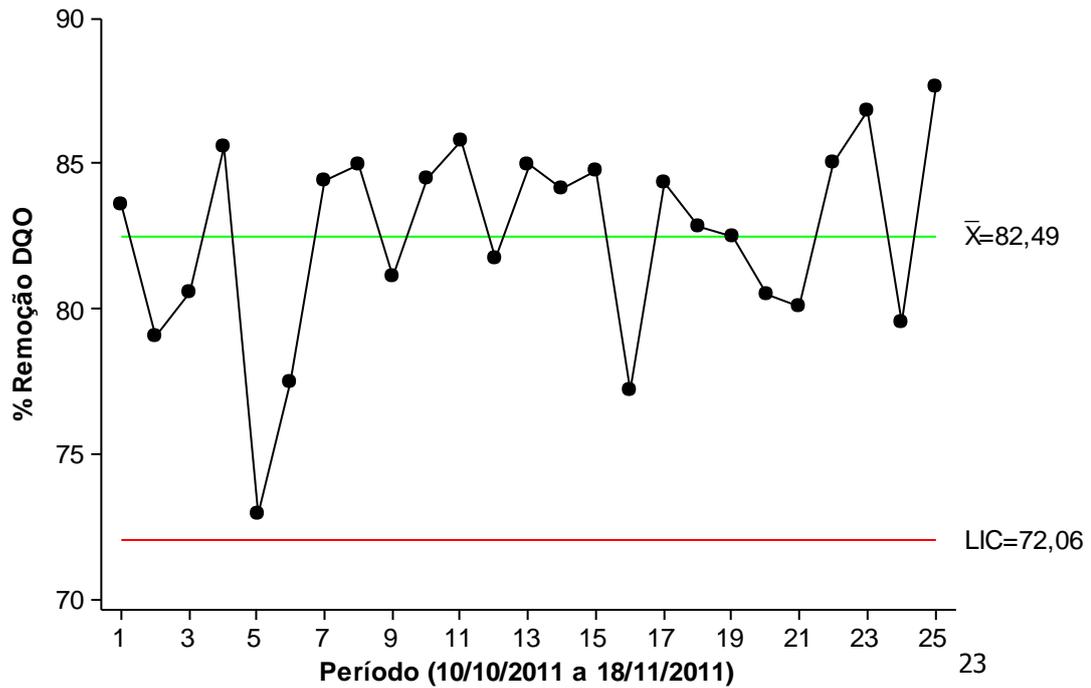


Figura 31 Tratamento 1: 3,04% de STV<sub>adicionados</sub> e 14 dias de TRH.

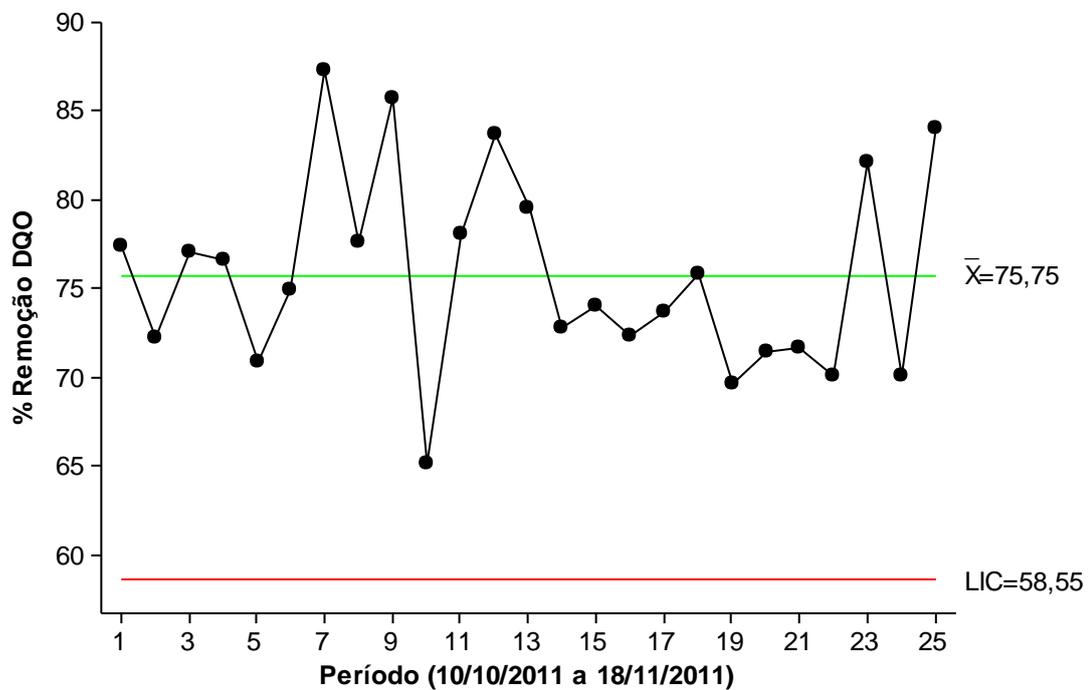


Figura 32 Tratamento 2: 3,61% de STV<sub>adicionados</sub> e 14 dias de TRH.

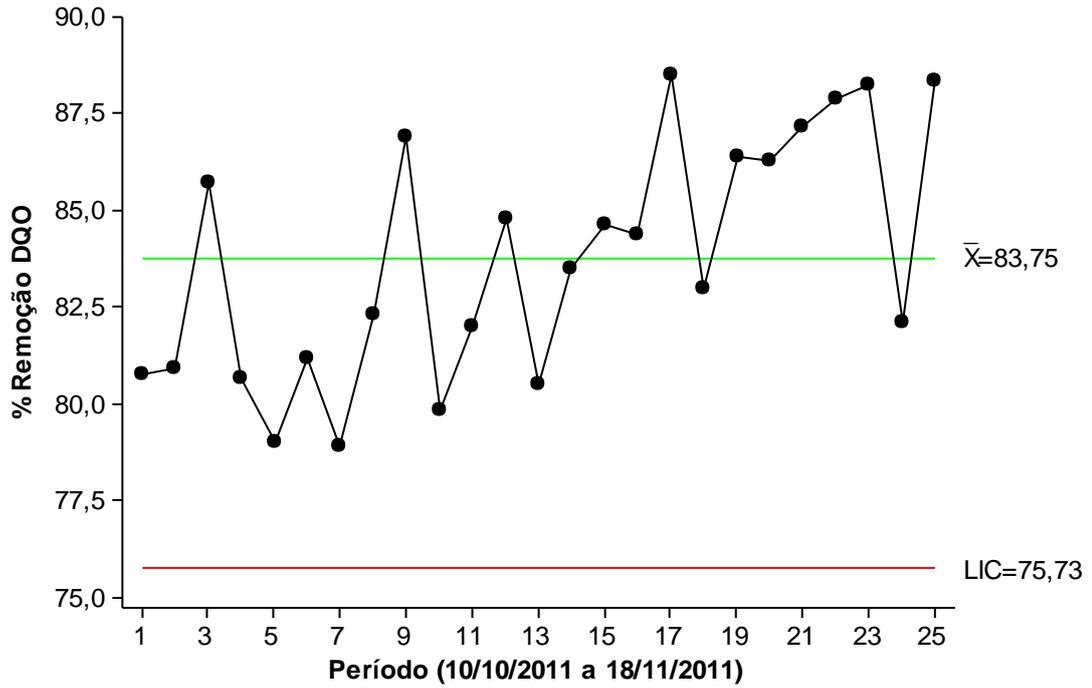


Figura 33 Tratamento 3: 3,04% de STV<sub>adicionados</sub> e 26 dias de TRH.

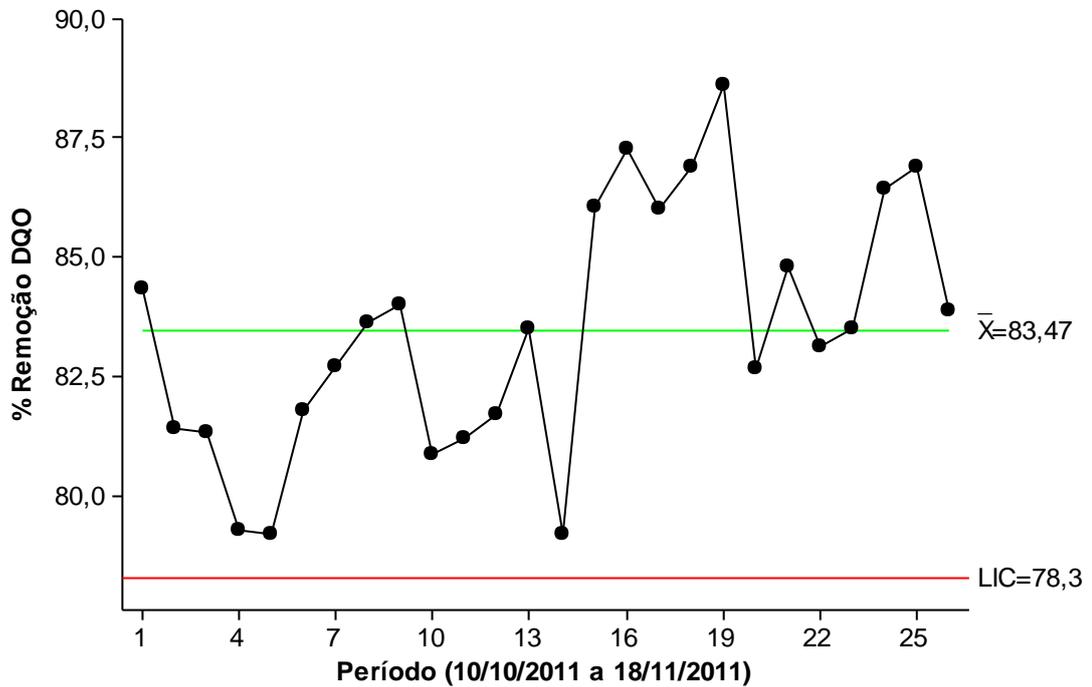


Figura 34 Tratamento 4: 3,61% de STV<sub>adicionados</sub> e 26 dias de TRH.

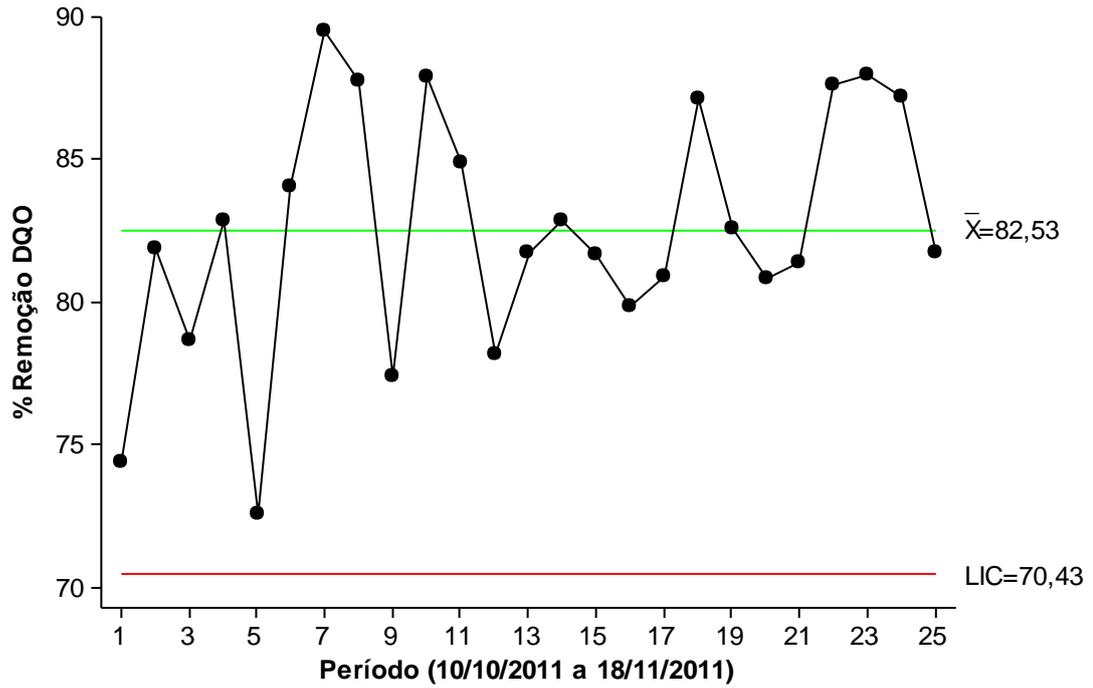


Figura 35 Tratamento 5: 3,32% de STV<sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.

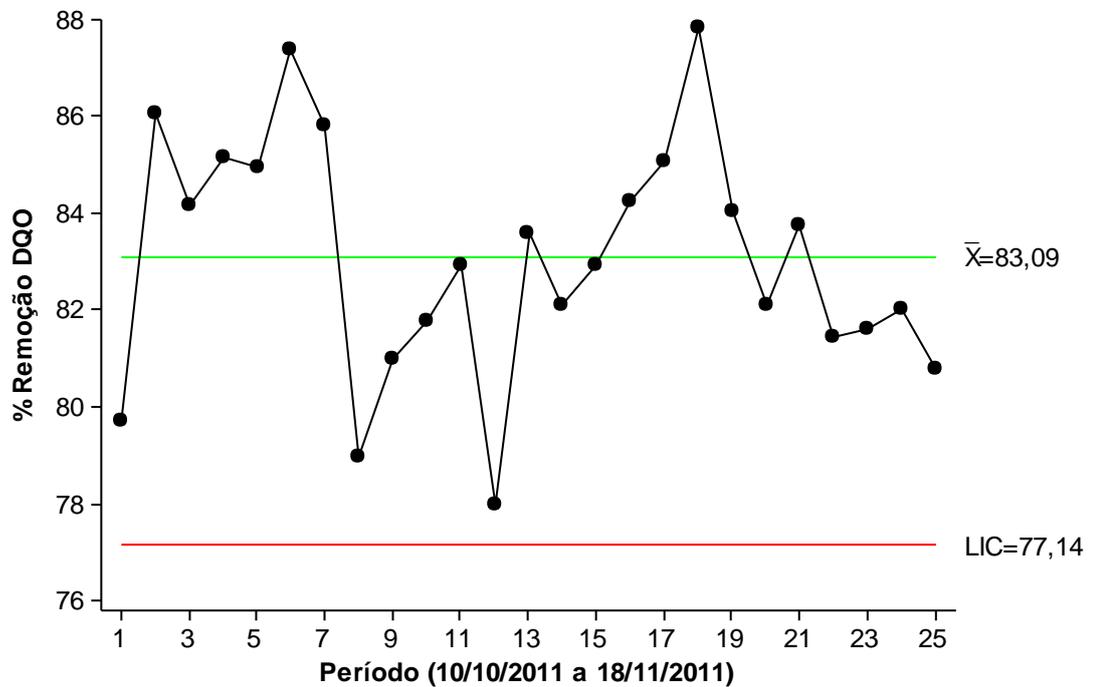


Figura 36 Tratamento 6: 3,32% de STV<sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.

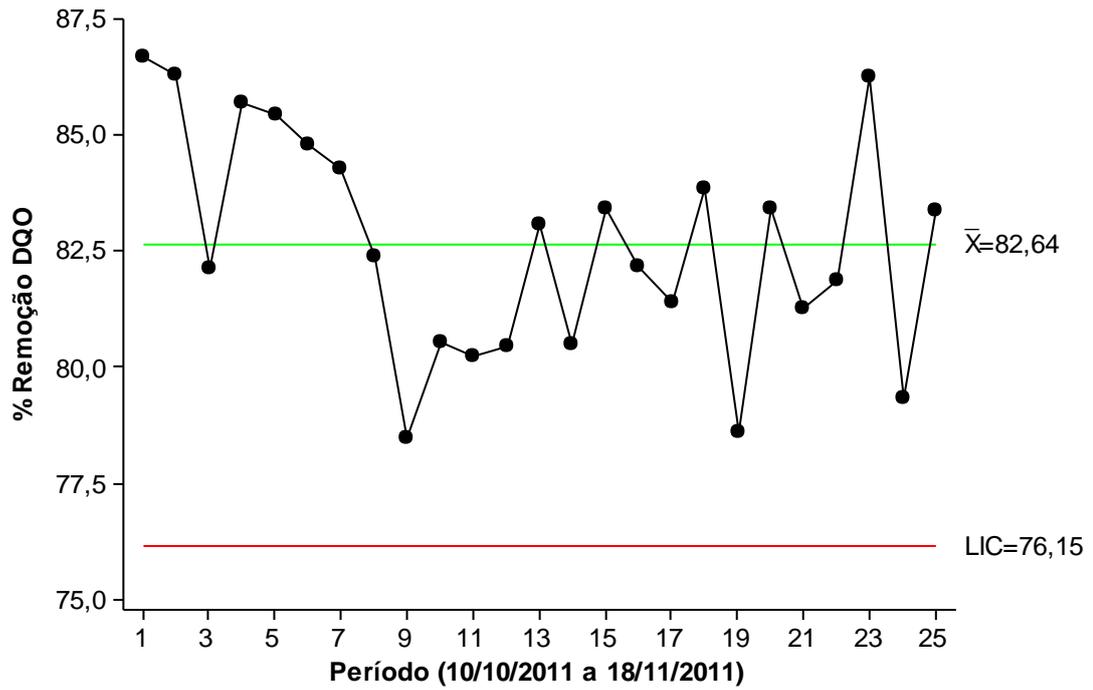


Figura 37 Tratamento 7: 3,32% de STV<sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.

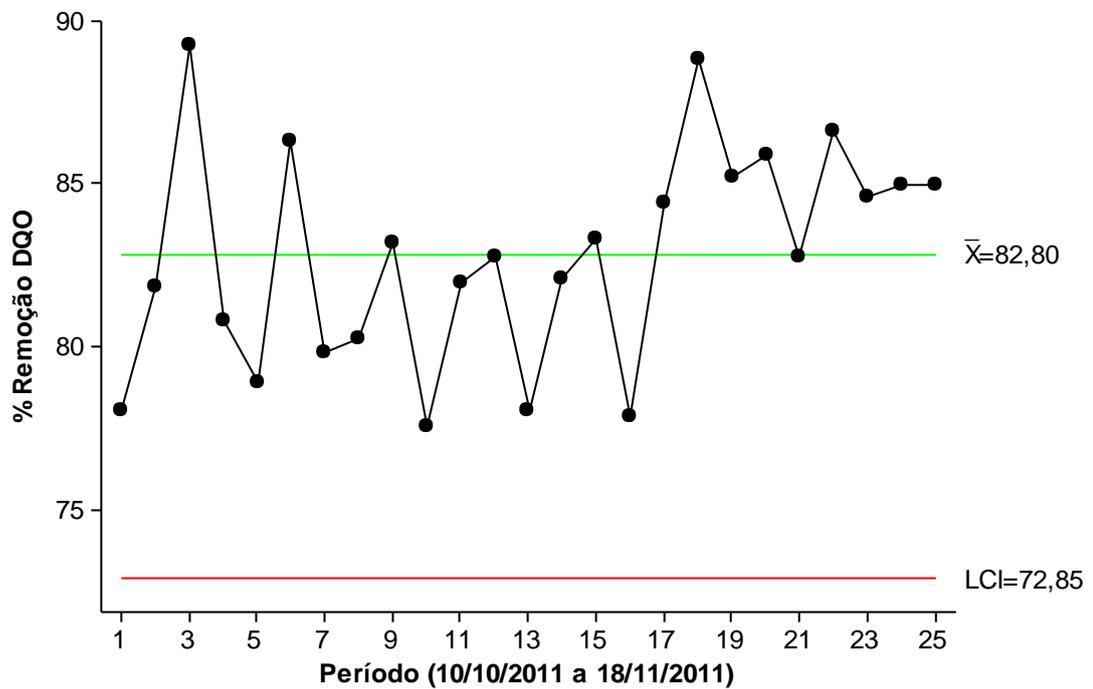


Figura 38 Tratamento 8: 2,93% de STV<sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.

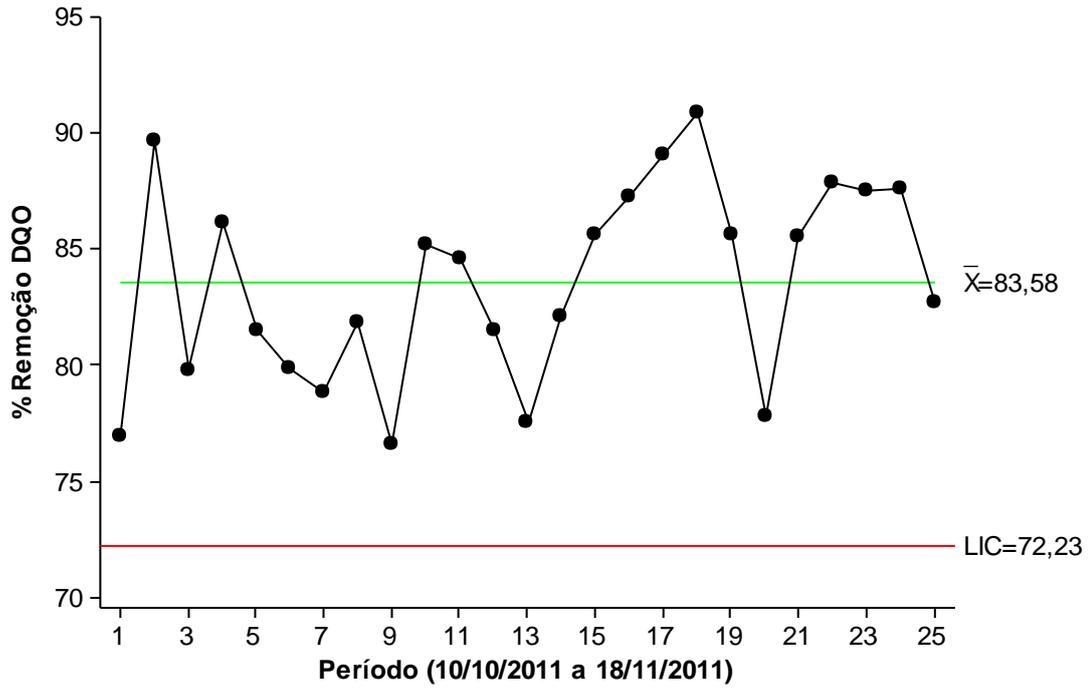


Figura 39 Tratamento 9: 3,72% de STV<sub>adicionados</sub> e 20 dias de TRH.

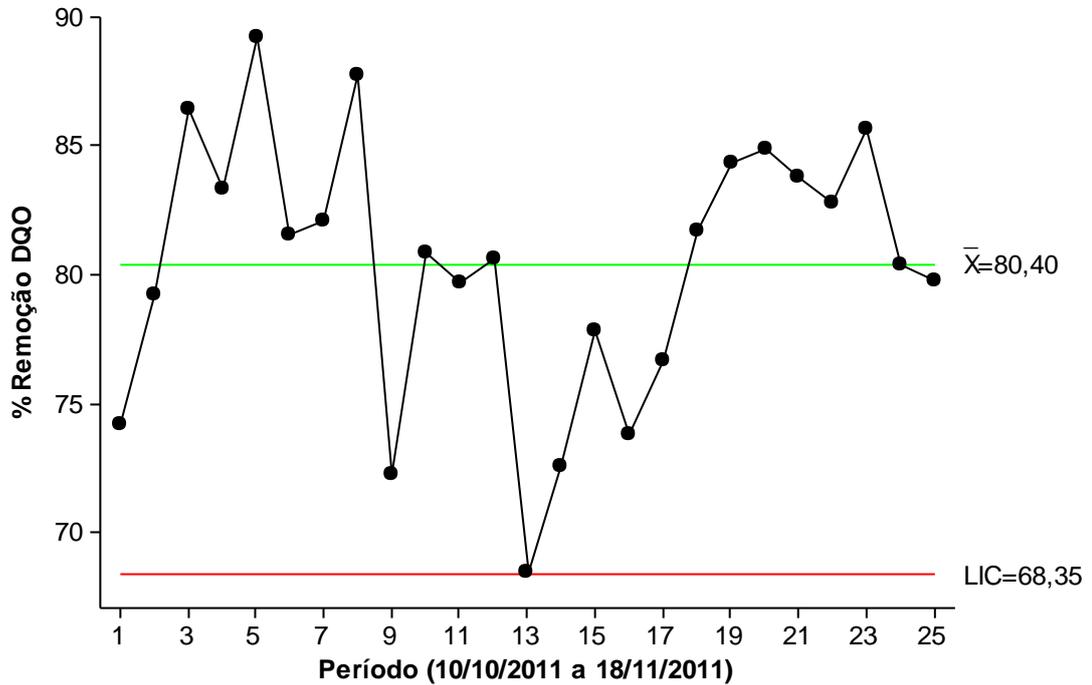


Figura 40 Tratamento 10: 3,32% de STV<sub>adicionados</sub> e 11,61 dias de TRH.

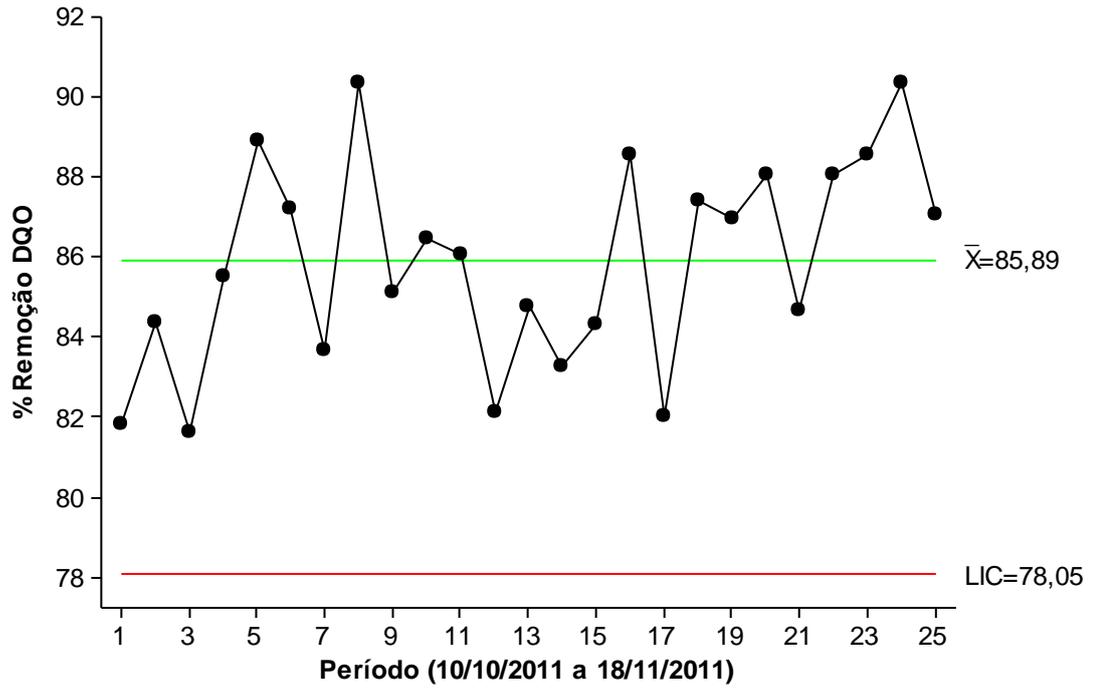


Figura 41 Tratamento 11: 3,32% de STV<sub>adicionados</sub> e 28,39 dias de TRH.