

## Utilização do Controle Estatístico de Processo para o Monitoramento da Qualidade do Biodiesel Produzido pela Usina Alfa

*Use of the Statistical Control of Process for the monitoring of the quality of the Biodiesel produced by Alfa power plant*

Rodolfo Bello Exler<sup>1</sup>  
Cristian Jacques Bolner de Lima<sup>2</sup>  
Fábio Macêdo Nunes<sup>3</sup>

Artigo recebido para publicação em Jun/2013 e aceito para publicação em Ago/2013.

### RESUMO

O objetivo desse estudo foi aplicar a metodologia do Controle Estatístico de Processos (CEP) em uma Usina de biodiesel situada na região nordeste do Brasil e com expressiva capacidade estimada de produção em âmbitos regional e nacional. O CEP é responsável por analisar a variação do processo através do desenvolvimento de cartas de controle que permitem a detecção de desvios de parâmetros representativos do processo e monitoramento das características de qualidade referentes ao atendimento das especificações do produto. O resultado obtido a partir do método adotado mostrou que as características avaliadas no processo indicado apresentam baixa variação no que tange aos limites de especificação exigidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Bicomcombustível (ANP), entretanto a distribuição não está centrada entre os limites de especificação, necessitando que seja realizado um acompanhamento sistemático, com o propósito de melhorar o controle de qualidade do biodiesel produzido.

**Palavras-chave:** Controle Estatístico de Processo. Biodiesel. Glicerina. Massa Específica.

### ABSTRACT

*The aim of this study was to apply the Statistical Process Control (SPC) methodology in a biodiesel Power Plant located in the Northeast of Brazil that has an impressive estimated production capacity in regional and national scopes. The SPC is responsible for analyzing the variation of the process through the development of control cards which allow the detection of deviation of the representative patterns of the process and monitoring of the quality characteristics related to meeting the product specifications. The result obtained from the adopted method showed that the characteristics assessed in the process indicated feature low variation in relation to the specification limits required by the national agency of petroleum, Natural gas and Biofuel (ANP), however the distribution is not centered, requiring that a systematic follow-up, with the purpose of improving the quality of biodiesel produced.*

**Keywords:** Statistical Process Control. Biodiesel. Glycerin. Specific Gravity.

---

<sup>1</sup> Discente do Mestrado Profissional em Tecnologias aplicáveis a Bioenergia, MBA em Gestão Empresarial, Especialista em Educação a Distância e Bacharel em Ciências Estatísticas. Docente da Universidade de Uberaba, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Faculdade de Tecnologia e Ciências e Faculdade Dom Pedro II. E - mail: [rbexler@gmail.com](mailto:rbexler@gmail.com)

<sup>2</sup> Pós-doutor em microbiologia industrial, Doutor em Engenharia Química, Mestre em Engenharia Química, Químico Industrial. Docente do Instituto Federal do Mato Grosso. E-mail: [cristianjbl@hotmail.com](mailto:cristianjbl@hotmail.com)

<sup>3</sup> Pós Doutor em Biotecnologia, Biofísica e Bioquímica, Doutor em Ciências, Mestre em Química, Licenciado em Química. Docente do quadro permanente do Mestrado Profissional em Tecnologias aplicáveis a Bioenergia da Rede FTC. E-mail: [mercuriof@gmail.com](mailto:mercuriof@gmail.com)

## INTRODUÇÃO

Seja na indústria, nas pesquisas científicas, na agricultura ou nos demais campos de aplicação, nota-se que a metodologia estatística recebe uma importância cada vez maior no mundo contemporâneo, pois vem ganhando progressivamente espaço nas análises e discussões acerca dos mais diversos temas por se apresentar, em muitas situações, como fator decisivo e determinante na aceitação de diversos modelos científicos que se comprovam diante de sua validação (BORGES, 2009). Durante o século XX, para Salsburg (2009), coube a Estatística revolucionar a ciência diante da oferta de modelos úteis que possibilitaram uma sofisticação nos processos de pesquisa que buscavam um melhor direcionamento para seus parâmetros de investigação, permitindo assim a tomada de decisões com base em orientações mais fortes, verificáveis e confiáveis.

Com o controle da qualidade de produtos essa máxima não poderia ser diferente, afinal através das contribuições da estatística é permitida a descrição detalhada do comportamento dos processos, a identificação de sua variabilidade e seu controle ao longo do tempo. Assim, diante da coleta contínua de dados e da análise de comportamentos resultantes de intervenções de causas especiais é possível o delineamento de formas de bloqueio para as mesmas estabelecendo assim sua melhoria contínua (ALENCAR, 2004; CORTIVO, 2005; IGNÁCIO, 2010).

Em todo processo de produção pode-se perceber uma variação inerente ao mesmo, sendo essa condição natural chamada de Sistema Estável de Causas Aleatórias. Tal variação, portanto, não implicará na redução da qualidade final do produto. Contudo, essa variabilidade ocasionada por problemas relacionados à ausência de ajuste de maquinário, erros do operador ou problemas com a qualidade de matéria prima, geram outro tipo de variação que pode impactar nas características de qualidade, sendo essa chamada de variação por causas atribuíveis, que são aquelas responsáveis por uma maior saída do produto final fora das especificações (MONTGOMERY, 2012; RATH & STRONG, 2006).

A separação das causas de variação comuns daquelas que são especiais (ou atribuíveis) é o elemento vital do Controle Estatístico de Processos (CEP), que apresenta como principal método empregado na distinção das causas de variação a carta (ou gráfico) de controle, sendo essa uma representação gráfica responsável

por monitorar uma variável de qualidade, por meio de seu valor médio e de sua variação, sendo aplicada para identificação de mudanças ocorridas no processo ao longo do tempo (DE VRIES & RENEAU, 2010; RABELATO et al., 2008). Desse modo, Ramos (2000) indica que a análise das cartas de controle permite que se determine quando um dado processo é estável, ou seja, se não há presença de causas atribuíveis de variação atuando sobre o mesmo.

Os gráficos de controle e suas avaliações complementares destacam-se dentre as ferramentas do CEP, principalmente, devido à simplicidade operacional apresentada e ainda à sua efetividade na detecção dos problemas emergentes ao processo (RUNGER & PIGNATIELO, 1991). Desse modo, sua utilização tem ganho notória importância nos processos produtivos pelo fato de desempenharem um papel fundamental na indústria moderna: a busca pela melhoria contínua. Sendo a avaliação dos processos produtivos e suas alterações, uma busca desse modo para o aperfeiçoamento, o campo de atuação do CEP e considerando a qualidade como um fator básico de decisão do consumidor atual no tocante a produtos e serviços, ratifica-se assim o quanto a utilização da técnica é salutar (ALVES, 2003; SOUZA & RIGÃO, 2005; NOMEINI et al, 2009; SANTOS, 2009).

Segundo Rosa (2009), características de qualidade são os itens dos quais depende o funcionamento de todo o produto, ou seja, são parâmetros componentes de sua especificação, permitindo assim sua adequação ao uso. Em alguns casos tais parâmetros são definidos de acordo com o setor de engenharia da organização, relacionado então ao modelo do produto, e em outros são determinados em consonância com as normas reguladoras indicadas.

A qualidade do Biodiesel segue o Regulamento Técnico ANP nº 4/2012, que traz a definição dos parâmetros de especificação do produto e dos métodos para medição dos mesmos. Assim, a padronização dos aspectos de qualidade do combustível influirá acentuadamente impedindo ou reduzindo as possibilidades de: emissões de poluentes para a atmosfera, desgaste no motor (o impacto no mesmo no que concerne ao desempenho e consumo por quilometro percorrido), corrosão em tanques de armazenamento, toxicidade do bicomcombustível e segurança no manejo. Segundo Quadros et al (2001), a qualidade desse produto influencia de forma decisiva em aspectos tocantes aos distribuidores, comerciantes, frentistas, consumidores finais e, a toda a sociedade.

Para atendimento às especificações exigidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Bicomustível (ANP) para comercialização do Biodiesel, as Usinas autorizadas para produção devem possuir um rígido Controle de Qualidade que, segundo Lopes (2007), pode ser conceituado como um agrupamento de ações ou medidas desenvolvidas com o objetivo de assegurar que os serviços ou produtos gerados atendam aos requisitos segundo os quais foram especificados.

Vale destacar que no tocante a qualidade do Biodiesel, a manutenção e controle de suas características de qualidade é estabelecida na forma de imperativo legal pela ANP que prevê a certificação de qualidade do produto final para que o mesmo tenha inserção para venda e consumo. Acerca do tema, a Resolução ANP nº 14, de 11 de maio de 2012 afirma:

(...) Art. 5º. O Produtor, o Adquirente e o Importador ficam obrigados a garantir a qualidade do biodiesel a ser comercializado em todo o território nacional e a emitir o Certificado da Qualidade de amostra representativa, cujos resultados deverão atender aos limites estabelecidos da especificação constante no Regulamento Técnico ANP nº 4/2012 (...)

O objeto de estudo deste trabalho é a análise do processo produtivo de uma usina produtora de Biodiesel, localizada no Nordeste brasileiro e com expressiva capacidade produtiva. Uma vez que o aspecto de maior relevância no desenvolvimento dessa avaliação consiste na aplicação de uma metodologia antes não utilizada no segmento e atendendo a uma solicitação da organização visitada, a entidade doravante será chamada de Usina Alfa para manutenção do sigilo quanto ao real nome da mesma. Diante do exposto, as percepções teóricas aqui brevemente discorridas foram levadas à Usina Alfa, que percebeu a necessidade do monitoramento pelo CEP como método auxiliar de gestão, indicando assim como variáveis de estudo a glicerina total e a massa específica a 20 °C.

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi aplicar os saberes estatísticos relativos a qualidade para promover uma avaliação da estabilidade de ambas as características resultantes da produção do biodiesel da Usina Alfa, através da utilização do Controle Estatístico de Processo (CEP).

## **1. MATERIAIS E MÉTODOS**

No que concerne às etapas de produção de biodiesel, a glicerina pode ser

destacada como um co-produto da reação de transesterificação de óleos e gorduras com o álcool. Entretanto, a mesma deve ser separada do produto final durante as fases desenvolvidas com o objetivo de purificar esse bicomcombustível. Ao avaliar a concentração de Glicerina nas amostras de biodiesel, indiretamente o que está ocorrendo é a verificação da eficiência alcançada pelo processo de purificação do mesmo (QUADROS ET AL. 2011).

A segunda característica avaliada na Usina Alfa, a densidade do biodiesel, possui relação direta com a estrutura molecular apresentada por suas moléculas. Desse modo, quanto maior for o comprimento da cadeia carbônica do alquiléster, conseqüentemente maior será a densidade, ainda que este valor decresça quando maior for o número de insaturações presentes na molécula. Outro fator que pode exercer influencia na densidade do Biodiesel é a presença de outras impurezas como, por exemplo, o álcool ou substâncias adulterantes. Assim, a resolução brasileira aponta como métodos para análise da densidade do biodiesel, os mesmos aplicados aos derivados de petróleo, sendo aceita uma faixa de valores de densidade entre 850 a 900 kgm<sup>3</sup>. Para o desenvolvimento dos testes relacionados a densidade, além dos métodos indicados pela norma europeia, são estabelecidos pelo regimento brasileiro os métodos ASTM 1298 e NBR 7148 - hidrômetros de vidro - e os métodos ASTM 4052 e NBR 14065 - decímetros digitais – (FERREIRA E CRUZ, 2009).

SENAI (2000) aponta que a aplicação de técnicas estatísticas almeja principalmente ofertar aos responsáveis pelo processo de tomada de decisão gerencial, referências pertinentes ao nível de confiabilidade dos resultados requeridos pelos controles e aos riscos inerentes às decisões tomadas. Assim, a prática comum para as avaliações de processos através dos gráficos de controle é a retirada de amostras aleatórias de tamanho definido de acordo com o planejamento organizacional, a cada determinado período, mensuradas da mesma forma, para que dessa maneira seja possível investigar se o processo apresenta-se ou não sob controle estatístico. Para que o processo seja classificado como sob controle é necessário que os pontos plotados no gráfico estejam dentro dos limites estabelecidos e que a apresentação encontrada seja aleatória tanto na parte superior, quanto na inferior à linha média que mensura a característica da qualidade avaliada (COSTA, 1994; DINIZ, 2001; CARVALHO, 2008).

Os dados referentes à glicerina total e massa específica à 20 °C foram disponibilizados após coleta pelos laboratórios de testes da Usina Alfa. O conjunto de dados coletados para o trabalho compreende um período de 29 dias ( $m = 29$ ) – totalidade de dias referente ao mês de coleta - sendo que para cada um dos mesmos foram selecionadas quatro medições ( $n = 4$ ) diárias, fato que corresponde a uma medição a cada 6 horas.

No monitoramento das variáveis em estudo, utilizaram-se os gráficos de média e amplitude para cada uma das características avaliadas, uma vez que o tamanho do subgrupo foi considerado pequeno, inferior a 8, não havendo nesse caso a necessidade imperativa para a utilização de outra medida de dispersão como o desvio padrão.

Para a definição da linha média ou central (LM ou LC), e os limites de controle superior (LSC) e inferior (LIC) das cartas para média e amplitude utilizou-se as equações apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Limites de Controle para as cartas para médias e amplitudes**

Limites de Controle	Carta da Média	Carta da Amplitude
Limite Superior de Controle (LSC)	$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$	$LSC = \bar{R} D_4$
Linha Central (LC)	$LC = \bar{\bar{x}}$	$LC = \bar{R}$
Limite Inferior de Controle (LIC)	$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$	$LIC = \bar{R} D_3$

Fonte: Montgomery (2012), Bueno (2010), Soares (2000), Chaves & Teixeira (1997).

As constantes A2, D3 e D4, expostas na Tabela 1, são valores tabelados representados por símbolos de fatores para conversão de médias de subgrupos em estimativas não viesadas (não tendenciosas) para limites 3 sigma (FERREIRA E OLIVEIRA, 2008).

Corroborando com a temática, Santos & Batista (2005) apontam que um processo considerado estável, ou sob controle estatístico, apresenta previsibilidade, possibilitando ainda a análise em torno da capacidade do mesmo no que concerne a determinada característica. Uma vez que o objetivo do CEP é alcançar um processo tanto sob controle estatístico como operando dentro das especificações delineadas para o produto, uma forma de realizar a verificação adicional sobre o desenvolvimento das operações produtivas é através do uso dos índices de

Capabilidade (RUTHES et al., 2006). Destaca-se que tais índices, nomeados como Cp e Cpk, são valores adimensionais, usuais para avaliar quanto o processo atende às especificações (ROSA, 2009).

O primeiro desses índices, Cp, é obtido diante da razão entre a faixa de especificação e a variação “natural” do processo, ou seja, 3 desvios-padrão, ao considerar a ausência de causas especiais. Desse modo, o Cp leva em consideração a dispersão do processo em relação aos limites de especificação como um todo (HELMAN E ANDERY, 1995). Cabe ao índice Cpk determinar se a média do processo está centrada em relação ao limite da especificação superior ou inferior, detalhando para qual lado mais tende o processo (DAVIS, AQUILANO E CHASE, 2001).

Desse modo, após estabelecido o controle para as características verificadas, realizou-se avaliação complementar através dos índices de capacidade do processo (Cp e Cpk) em associação com histogramas amostrais. Destaca-se que Cp e Cpk são valores adimensionais, usuais para avaliar quanto o processo atende às especificações (ROSA, 2009).

Os cálculos dos índices de capacidade do processo para os dados em análise foram calculados a partir das seguintes equações indicadas por Rosa (2009) para determinação de Cp e Cpk:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} \quad Cpk = \text{Min}\left(\frac{LSE - \bar{x}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\bar{x} - LIE}{3\hat{\sigma}}\right)$$

Assim, considerou-se:

LSE = Limite superior de especificação da característica de qualidade avaliada;

LIE = Limite inferior de especificação da característica de qualidade avaliada;

$\hat{\sigma}$  = Desvio padrão estimado;

Min = Valor mínimo obtido no cálculo;

$\bar{x}$  = Média do processo

No processamento dos dados, realização dos cálculos de limites de controle, definição dos índices de capacidade e desenvolvimento das cartas de controle foi utilizado o software MINITAB versão 14.0 (2003), através de seu módulo de controle estatístico da qualidade.

## 2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A qualidade do Biodiesel pode apresentar variações de acordo com aspectos tais como alterações nas estruturas moleculares dos seus ésteres constituintes ou diante da presença de contaminantes advindos da matéria prima, do processo produtivo ou da forma de estocagem desse bicomcombustível (LÔBO ET AL, 2009). As características avaliadas nesse estudo se referem a uma especificação de qualidade concernente ao processo de produção do biodiesel, a glicerina total, e outra especificação de qualidade referente à propriedade inerente às estruturas moleculares, a massa específica. Na Tabela 2, observam-se os dados coletados referentes a concentração da glicerina (em % massa) e massa específica a 20°C (em kg/m<sup>3</sup>) disponibilizado pelos laboratórios da Usina Alfa em relação aos parâmetros avaliados.

**Tabela 2: Concentração da glicerina total e massa específica a 20°C no biodiesel coletado na usina alfa.**

	Glicerina Total				Massa Específica a 20°			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
1	0,19	0,2	0,2	0,2	866,38	871,4	871,39	864,41
2	0,2	0,21	0,21	0,19	882,4	891,42	858,42	869,39
3	0,2	0,2	0,21	0,2	890,4	888,4	888,41	886,41
4	0,2	0,27	0,21	0,22	876,4	891,53	854,43	855,44
5	0,24	0,24	0,24	0,23	864,48	857,48	874,48	868,45
6	0,23	0,22	0,26	0,25	885,45	853,44	878,52	855,5
7	0,2	0,2	0,2	0,2	887,39	890,39	881,4	872,4
8	0,23	0,24	0,24	0,26	890,46	876,48	888,47	882,51
9	0,24	0,24	0,23	0,24	854,49	862,49	892,46	863,47
10	0,23	0,27	0,19	0,24	875,46	881,55	865,38	869,47
11	0,21	0,21	0,22	0,21	892,42	869,42	864,43	881,43
12	0,19	0,2	0,21	0,21	887,38	880,39	864,42	885,42
13	0,2	0,19	0,19	0,19	888,39	855,38	886,38	882,38
14	0,2	0,2	0,19	0,21	880,39	869,4	867,39	858,41
15	0,15	0,19	0,2	0,2	865,31	867,38	876,39	876,4
16	0,21	0,19	0,22	0,21	874,42	869,39	883,43	854,43
17	0,23	0,24	0,26	0,26	880,46	878,47	882,53	865,51
18	0,23	0,23	0,24	0,25	877,47	856,47	881,47	883,49
19	0,23	0,23	0,19	0,24	870,45	884,45	875,38	853,49
20	0,19	0,18	0,23	0,2	887,38	891,36	882,45	854,41
21	0,19	0,18	0,19	0,19	856,37	866,36	883,38	893,38
22	0,18	0,18	0,18	0,19	860,36	865,37	882,36	864,38
23	0,19	0,17	0,18	0,18	861,37	859,35	887,36	886,37



	Glicerina Total				Massa Específica a 20°			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
24	0,21	0,2	0,2	0,18	871,41	860,4	871,4	868,36
25	0,19	0,19	0,24	0,19	877,37	883,38	875,49	867,38
26	0,19	0,23	0,23	0,24	863,38	858,45	858,45	885,48
27	0,17	0,23	0,21	0,18	860,35	859,45	870,43	888,36
28	0,2	0,18	0,22	0,21	868,4	864,36	890,43	864,42
29	0,19	0,22	0,19	0,2	856,38	866,43	881,38	870,39

Fonte: Usina Alfa

Os dados indicados na Tabela 2 apontam a consolidação de vinte nove subgrupos compostos por quatro medições amostrais para cada uma das características avaliadas. Para Slack et al (2008) os processos necessariamente não possuem variação de seu desempenho em consonância com uma distribuição normal, entretanto, quando se extrai uma amostra referente a qualquer outro tipo de comportamento, verifica-se que a distribuição das médias das amostras se aproxima à normalidade. Corroborando com o tema, Pires (2000) e Oakland (2003) afirmam que ao trabalhar com médias ao invés de observações individuais da variável de interesse, caberá ao teorema do limite central garantir a normalidade da distribuição amostral das médias, fato que possibilita a utilização de cartas de controle para monitoramento das características de qualidade indicadas pela Usina Alfa.

Os gráficos de controle para médias e amplitudes (Xbar e R), que serão apresentados nas subseções 3.1 e 3.2, são as representações gráficas indicadas para avaliar o comportamento de processos representados por coletas que permitam a construção mínima de 20 subgrupos compostos por até 10 elementos cada. Quando o tamanho de elementos apresentados nos subgrupos é superior a 10, indica-se o uso da carta da média em associação com o desvio padrão para maior detalhamento da variabilidade da informação, no entanto em caso contrário a amplitude apresenta-se como medida suficiente (MONTGOMERY, 2012). Diante do exposto, para o desenvolvimento desse estudo em que a cada subgrupo foram consideradas quatro amostras, justifica-se a escolha da carta adotada para a definição dos limites tentativos de controle.

### 3. GLICERINA TOTAL

Quantitativos elevados respectivos à concentração de glicerina no Biodiesel são responsáveis por problemas no seu armazenamento, formação de depósitos, entupimentos de bicos injetores do motor e emissões de aldeídos, além de outras ocorrências de cunho negativo (LÔBO ET AL, 2009). Sendo assim, verifica-se a relevância de compreender e controlar as variações dessa característica de qualidade.

Considerando os registros adotados para esse estudo, no Gráfico 1 observam-se os limites de controle para a amplitude dos dados e o comportamento dos subgrupos em relação aos mesmos. Para o desenvolvimento de um estudo a partir da carta de controle é importante que o processo seja iniciado com a verificação dos limites de controle para o gráfico que representa a dispersão dos dados, o que nesse momento é representado pela Amplitude (MONTGOMERY, 2012).

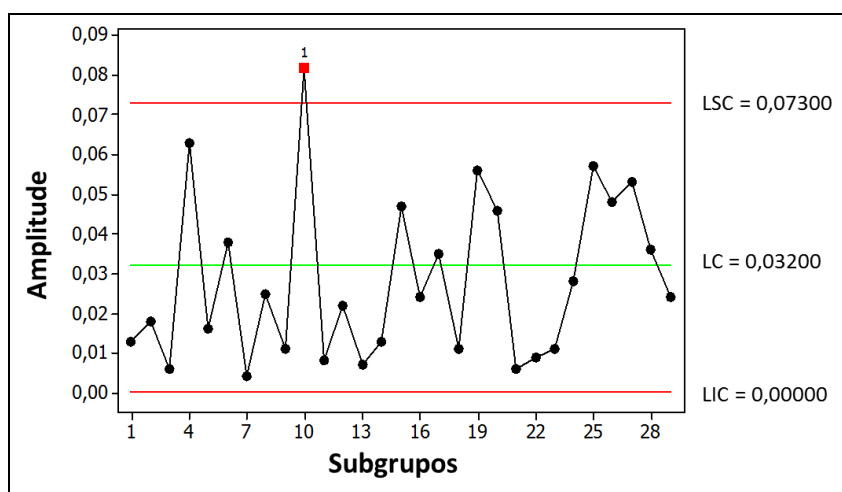


Gráfico 1: Gráfico de Controle para Amplitudes - Glicerina Total

De acordo com o Gráfico 1, o ponto que representa o subgrupo 10 (décimo dia de coleta de dados), apresentou-se em uma área fora de controle. Um ponto acima ou abaixo dos limites de controle é interpretado como sinal de que o processo deve estar fora controle e alguma ação corretiva torna-se necessária Bonduelle (2006). Sendo assim, é importante que a Gestão da Usina faça um levantamento concernente aos motivos que implicaram nessa alteração no referido dia. Comumente os desvios observados são causados por uma variação em um dos

seguintes elementos: método, máquina, mão de obra, matéria prima, meio ambiente ou medida (ROSA, 2009).

Diante do exposto, foi necessária a revisão dos limites de controle do processo a partir da retirada dos dados referentes ao décimo dia de coleta. Essa ação deve ser repetida até que todos os pontos estejam sob controle estatístico Montgomery (2012). Em nenhuma hipótese é permitida a utilização dos subgrupos que se apresentarem sob a influência de causas atribuíveis ou especiais de variação diante do gráfico de controle elaborado. Os registros desses subgrupos devem permanecer documentados assim bem como as ações gerenciais tomadas para remoção das causas que tornaram o processo fora de controle estatístico Samohyl (2009).

Desse modo, como resultado da revisão dos limites de controle para as amplitudes da característica glicerina total, diante de um novo cálculo dos referidos limites conforme formulário apresentado na metodologia adotada foi obtido os valores 0,0298 para a linha central (LC), 0,06801 para o limite superior (LSC) e 0,0 para o limite inferior (LIC). No Gráfico 2 é possível a observação do comportamento das amplitudes, nesse instante validado sob o viés do controle estatístico de processo.

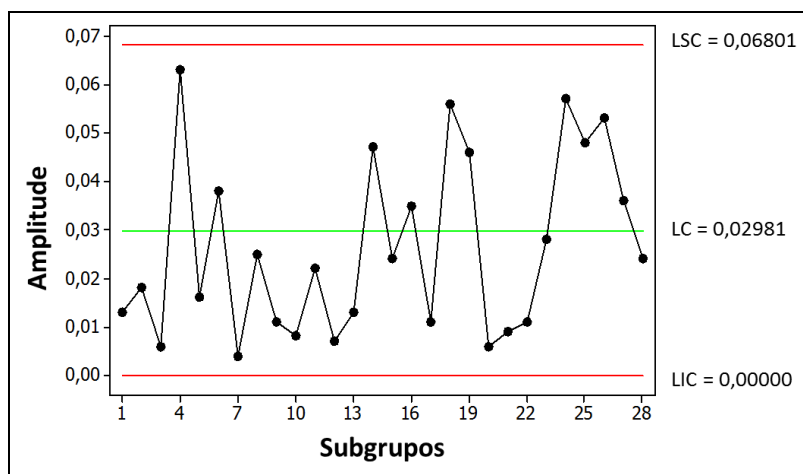


Gráfico 2: Gráfico de Controle para Amplitudes (Limites revisados) - Glicerina Total

Vale ressaltar que em todos os momentos em que causas especiais de variação apareceram nas avaliações do processo, a Usina Alfa foi comunicada acerca das ocorrências e utilizou das informações transmitidas para verificar e aprimorar seu processo, entretanto por conta do sigilo organizacional acerca dos

processos internos não serão citados aqui as motivações e intervenções de processo identificadas para as variações especiais.

Uma vez estável a primeira medida do processo, construiu-se a carta de controle para a média da presença da glicerina total no biodiesel, conforme apresentado no Gráfico 3. A análise do comportamento da representação, novamente, indicou que o processo estava fora de controle, pois dez pontos estiveram além dos limites estabelecidos para a variação comum nesse processo produtivo.

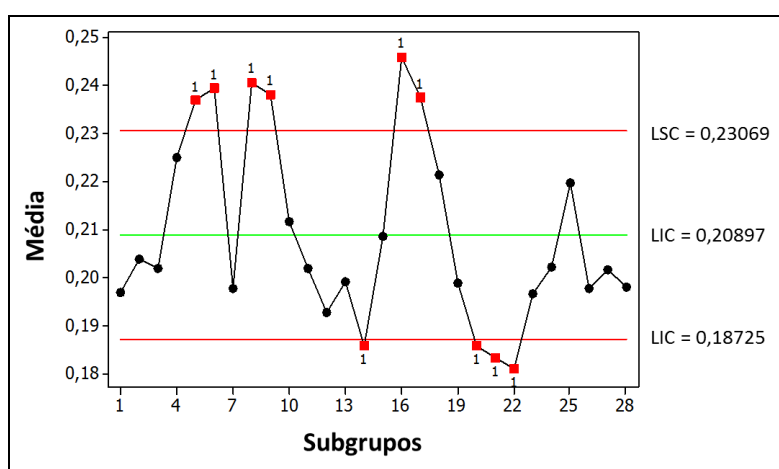


Gráfico 3: Gráfico de Controle para Médias - Glicerina Total

Frente aos pontos localizados acima e abaixo dos limites de controle observados no Gráfico 3 foi realizada a retirada dos dados referentes aos mesmos e então calculados os novos limites para o processo, de acordo com o que é indicado na literatura e diante da aplicação do formulário apresentado na Tabela 1.

Consolidando os dados, o Gráfico 4 apresenta o estado de controle estatístico de processo no que concerne a característica em verificação e considerando os dados que compõem essa pesquisa. Os processos sob controle são caracterizados pela aleatoriedade e pela presença de todos os pontos entre os limites superior e inferior de controle Montgomery (2004). Desse modo, verifica-se no gráfico citado que não somente todos os dados estão entre os limites de controle, como também não há presença de padrões não aleatórios de comportamentos. Os limites de controle para a glicerina total são 0,20425 para a linha central (LC), 0,22810 para a linha superior (LSC) e 0,18040 para a linha inferior (LIC).

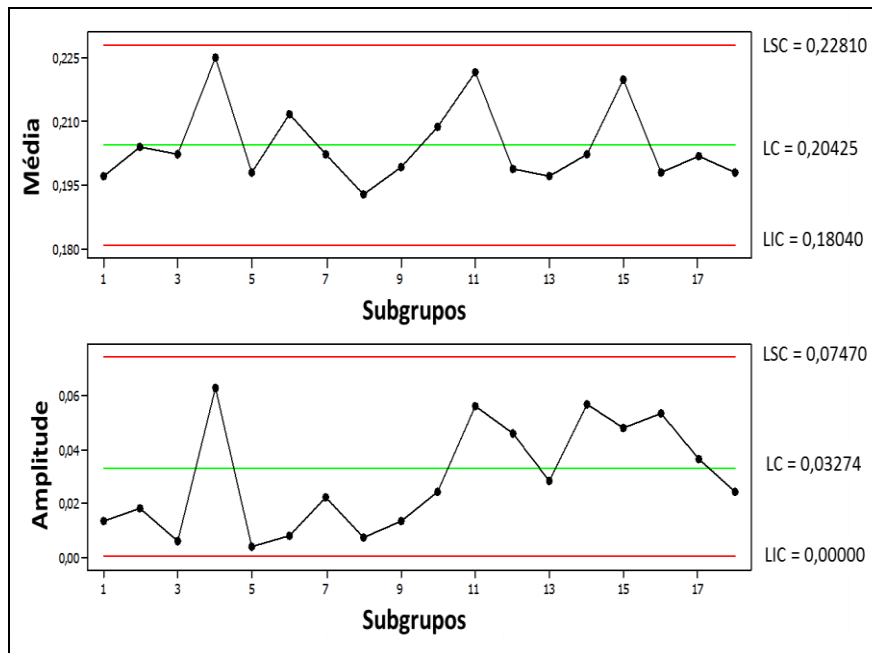


Gráfico 4: Gráfico de Controle para Médias e Amplitudes - Glicerina Total

Com a definição dos limites revisados em ambos os casos, e conseqüentemente o alcance do estado sob controle estatístico, foi permitida a verificação do processo quanto a sua capacidade em produzir bem diante das especificações adotadas pelo mercado perante o imperativo legal. O normativo brasileiro para as especificações de qualidade do Biodiesel aponta que é aceitável um percentual de até 0,25% m/m de glicerina total nas amostras selecionadas para testes (ANP, 2012). Seguindo a legislação brasileira, para o desenvolvimento dos testes deve ser utilizadas como métodos a NBR 15344, ASTM 6584 ou EM 14105 que direcionam para o emprego de cromatografia em fase gasosa de alta resolução como técnica analítica (FOGLIA ET AL, 2004).

Tanto na verificação do histograma referente ao processo sob controle estatístico, quanto no cálculo dos índices de capacidade constatou-se que as amostras avaliadas não apresentavam centralização quanto à faixa de especificação adotada, conforme evidenciado no Gráfico 5.

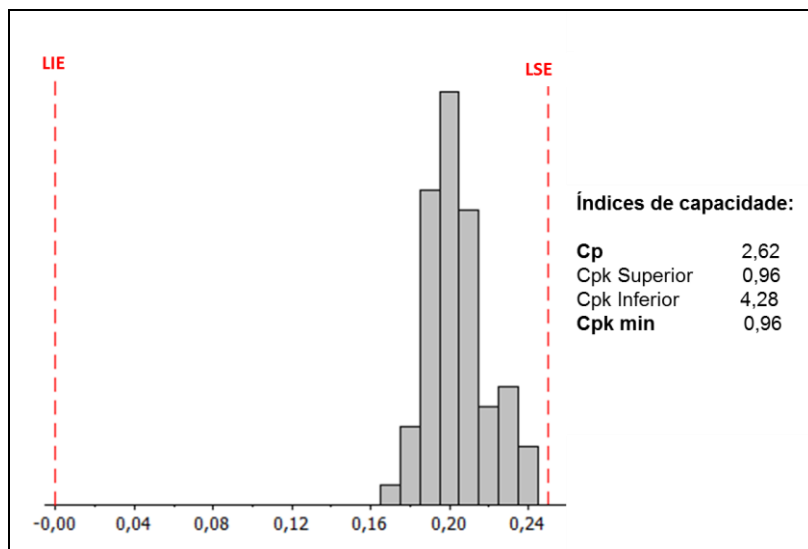


Gráfico 5: Avaliação da capacidade do processo – Glicerina Total

O índice Cp, obtido diante da razão entre a faixa de especificação e a variação “natural” do processo, indicou um quantitativo igual a 2,62, fato que permite a afirmação de que o processo de produção do biodiesel na Usina Alfa em relação à característica glicerina total faz uso apenas de 38,17% da faixa disponível para a mesma, conforme evidenciado na representação gráfica anterior. Considerando a centralização do processo, o valor do índice Cpk de 0,96 indicou que o processo está ocorrendo muito próximo ao limite superior de especificação, portanto descentralizado.

#### 4. MASSA ESPECÍFICA A 20 °C

O controle da massa específica do Biodiesel é salientado até mesmo após a certificação do mesmo para venda, sendo estão ratificada sua importância no processo de monitoramento da qualidade desse biocombustível. Em sua resolução nº14 de 2012, a ANP afirma que o Biodiesel produzido pelas usinas possuirá um prazo máximo de um mês para ser comercializado, a partir do dia em que a certificação foi obtida, sendo que finalizado este prazo, é imperativa a realização de nova análise da massa específica a 20 °C. Em caso de confirmação de uma diferença inferior a 3,0 kg/m<sup>3</sup> em relação ao registro anterior que possibilitou o certificado, é necessária nova análise do teor de água, índice de acidez e a estabilidade à oxidação a 110 °C. Para casos em que a diferença seja superior a 3,0

kg/m<sup>3</sup>, deverão ser reavaliados todos os parâmetros de qualidade da resolução ANP (2012).

Em atenção às condições dispostas pela regulamentação brasileira, os dados levantados pela Usina Alfa em seus laboratórios de teste e apresentados na Tabela 2, constituíram os 29 subgrupos compostos por quatro elementos (portanto, de tamanho 4), que permitiram a elaboração dos gráficos de controle de média e amplitude para a característica Massa Específica. A justificativa para essa ação ocorre pelos mesmos pressupostos elencados na seção 3.1

Desse modo, iniciando pela dispersão dos dados, os limites calculados para a carta da amplitude indicaram que seus controles são estabelecidos com uma linha média ou central (LM ou LC) de 24,25. Limite inferior de controle (LIC) igual a zero e limite superior de controle de 55,33. Na verificação do Gráfico 6, o processo se apresenta sob controle estatístico no que concerne a amplitude dos dados uma vez que não existem pontos fora dos limites de controle e não se apresenta nenhuma configuração especial diante da representação em análise.

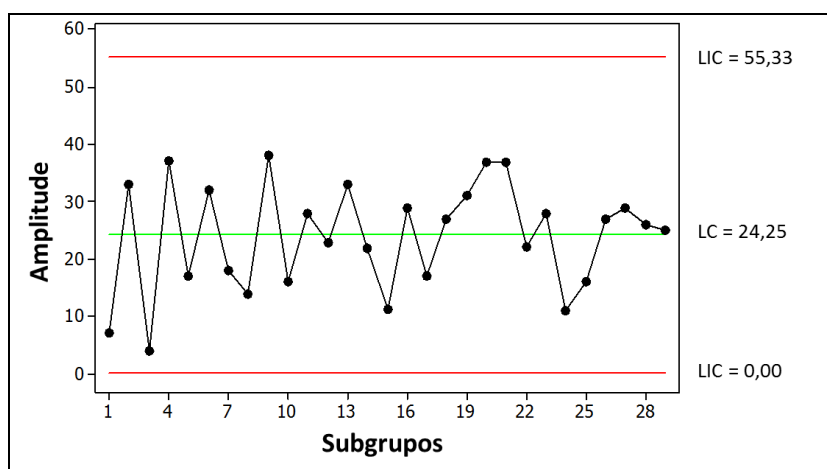


Gráfico 6: Gráfico de Controle para Amplitudes – Massa específica

Com o controle da medida de dispersão estabelecido, o segundo momento foi marcado pela definição dos limites de controle para às médias apresentadas pelos subgrupos constituídos para o estudo. Conforme indicado no Gráfico 7, no que concerne a média do processo o mesmo também se apresenta sob controle estatístico, portanto, sem apresentar pontos além dos limites de controle ou configuração especial no comportamento da distribuição dos pontos plotados no gráfico.

Os limites de controle para as médias do processo em questão são representados por 855,72 no limite inferior de controle (LIC), 873,39 na linha média ou central (LM ou LC) e 891,06 para o limite superior de controle (LSC).

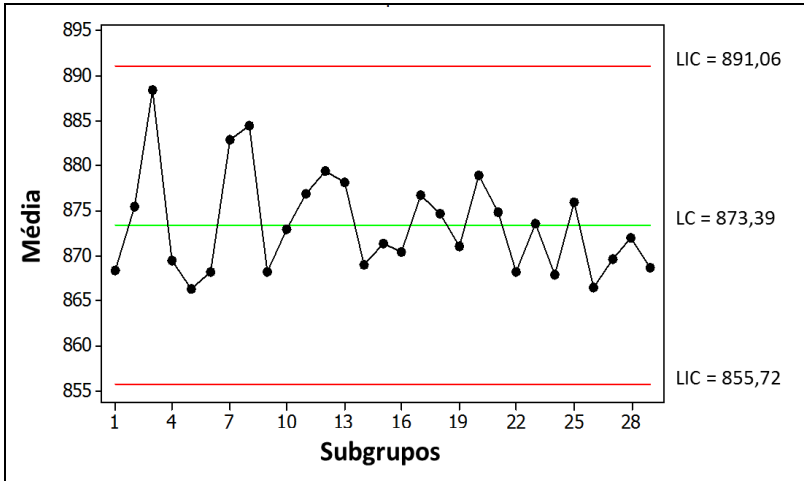


Gráfico 7: Gráfico de Controle para médias – Massa específica

Com o processo em estado de controle, é permitida a avaliação da capacidade do processo em produzir de acordo com as especificações adotadas pela ANP. Assim, a resolução brasileira aponta como sendo aceita uma faixa de valores de densidade entre 850 a 900 kgm<sup>3</sup>. (FERREIRA E CRUZ, 2009). Conforme explicitado no Gráfico 8, a característica observada indica um índice Cp de 0,71, fato esse que permite a afirmativa de que o processo usa mais do que a faixa de tolerância para sua produção. Com índice Cpk de 0,66, verifica-se que o processo está mais próximo ao limite inferior de especificação.

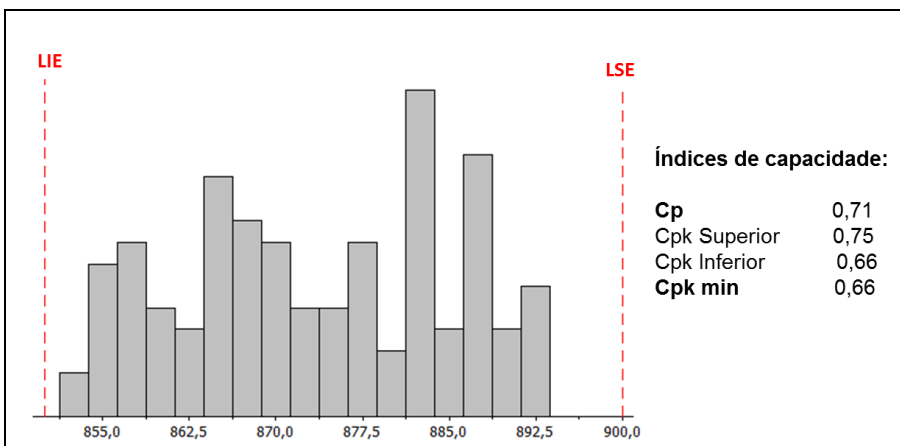


Gráfico 8: Avaliação da capacidade do processo – Massa específica



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todo e qualquer produto apresenta como objetivo o atendimento às exigências do cliente. Assim, o mesmo deve ser produzido em consonância com um processo devidamente estável ou replicável. Entretanto, para que essa meta seja alcançada, o processo produtivo deve ser capaz de operar em uma pequena faixa de variabilidade em torno das dimensões alvo das características de qualidade do produto, ou seja, das especificações.

No tocante a característica glicerina total, com o valor de  $C_p$  maior que 1, o processo em avaliação se apresenta com baixa variação em relação à faixa dos limites de especificação pois utiliza, aproximadamente, 38% da faixa da mesma. Entretanto, ao avaliar o  $C_{pk}$ , menor que 1, é evidenciado que mesmo apresenta-se com a existência de uma baixa variação em relação à faixa dos limites de especificação, a distribuição não está centrada na faixa de especificação, fato que a literatura classifica como um processo incapaz. Essa classificação permite compreender que o processo está descentralizado, ou seja, que a média da glicerina total verificada no processo não coincide com o valor nominal das especificações. Esse fato implica em apontar que a produção está ocorrendo muito próxima a faixa máxima permitida de tolerância para essa característica de qualidade, conforme aponta o valor  $C_{pk}$  de 0,96, e que em caso de qualquer variação mais acentuada no processo, pode haver produção de biodiesel com um quantitativo mais elevado de glicerina antes da percepção dessa ocorrência por parte da gestão da usina.

Para a massa específica a situação verificada apresentou-se desde o primeiro momento do estudo em estado de controle estatístico, entretanto com índices de capacidades mais baixos, ambos menores que 1, portanto, conclui-se que o processo no que concerne a essa característica da qualidade também é incapaz. Assim, a distribuição utiliza uma faixa maior do que a tolerável para uma produção estável conforme verificado no Gráfico 8 e encontra-se muito próxima ao limites inferior de especificação.

As conclusões acima descritas indicam que o Biodiesel produzido pela Usina Alfa atende as especificações indicadas pela ANP em sua Resolução ANP nº 14 de 2012, entretanto é necessária uma intervenção gerencial para melhorias do processo, pois o mesmo se conduz muito próximo dos limites de tolerância. Essa

necessidade é uma forma de prevenção para que futuramente não ocorram variações motivadas por causas especiais no processo produtivo que ao serem detectadas já estejam consolidadas, ou seja, que já possibilitem um quantitativo de biocombustível fabricado fora das especificações do mercado e que implicarão no aumento dos custos e reprocessamento de Biodiesel para a Usina. O processo, na perspectiva das características avaliadas nesse estudo, precisa de um maior controle sobre a variabilidade do mesmo para que assim se mais torne estável e, portanto possibilite melhores ações de gestão.

Entre as alternativas possíveis para tornar capaz esse processo, poderiam se agregar ao mesmo, melhorias tecnológicas que aumentassem a sua confiabilidade em prol da redução da variabilidade comum e ainda programas de treinamentos periódicos para os colaboradores buscando prepará-los para a utilização destes sistemas, conscientizá-los para o fato de que a qualidade é um fator vital para a organização. Outros caminhos poderiam ser a realização de um levantamento detalhado sobre todo o processo através de um estudo exploratório e descritivo, e ainda a implementação efetiva das técnicas propostas pelo CEP em coletar dados, registrá-los em cartas de controle e verificar continuamente as informações resultantes da mesma como ação rotineira do Programa de Qualidade já realizado pela organização.

## REFERÊNCIAS

ALENCAR, J.R.B.; SOUZA JÚNIOR, M.B.; ROLIM NETO, P.J. ; LOPES, C.E. **Uso de controle estatístico de processos para avaliação da estabilidade e validação da fase de compressão de formas farmacêuticas sólidas**. Acta Farm Bonaer. V.24: 426 – 35. 2005.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível. Biocombustíveis. 2011. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/?id=470> >. Acesso em: 23 de maio de 2012

\_\_\_\_\_. Resolução ANP Nº 14, de 11.5.2012. Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2012/maio/ranp%2014%20%202012.xml](http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2012/maio/ranp%2014%20%202012.xml) > Acesso em: 20 jul. 2012.

BORGES, R,C. **Estudos de testes de estabilidade de processos em gráficos de controle de Shewhart**. 2009.144p. Dissertação (Mestrado em Estatística e

Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras MG, 2009.

BONDUELLE, G. M. **Gestão da qualidade total para a produção florestal**. Curitiba: UFPR\_PECCA, 2006. 205 p. Apostila.

BUENO, Fabricio. **Estatística para processos produtivos**. Florianópolis: Visual Books, 2010.

CARVALHO, M. M.; Qualidade. In: BATALHA, M. O. **Introdução à engenharia da produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. cap. 4, p. 53-77.

CHAVES, J. B. P.; TEIXEIRA, M. A. **Controle Estatístico de Qualidade – inspeção por amostragem/ mapas de controle**. DTA/UFV. Viçosa, MG: (s.n.), 1997. 162 p.

CORTIVO, Z.D. **Aplicação do Controle Estatístico de Processo em sequencias curtas de produção e análise estatística através do planejamento econômico**. (Dissertação). Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 2005.

COSTA, A.F.B. **X Charts with variable sample size**. Journal of Quality Technology, vol. 26, n.3, p. 155-163, 1994.

DAVIS, M. M., AQUILANO, J. e Chase, R. B. **Fundamentos da Administração da Produção**. 3ª Ed. Bookman. Porto Alegre, 2001.

DE VRIES, A.; RENEAU, J. K. **Application of statistical process control charts to monitor changes in animal production systems**. Journal of Animal Science, v. 88, p. 11-24, 2010.

DINIZ, M. G. **Desmistificando o controle estatístico de processo**. São Paulo: Artliber, 2001.

FERREIRA, E.B. ; OLIVEIRA, M.S.de. **Controle estatístico da qualidade**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2008.

FOGLIA, T.A.; JONES, K.C.; NUNEZ, A.; PHILLIPS, J.G. ; MITTELBALCH, M. **Comparison of Chromatographic Methods for the Determination of Bound Glycerol in Biodiesel**. Chromatographia. N°60: 305 - 311. 2004.

HELMAN, H. ; ANDRERY, P. R. P. **Análise de Falhas: aplicação dos métodos de FMEA-FTA**. Fundação Cristiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 1995.

IGNÁCIO, Sérgio Aparecido. **Importância da Estatística para o Processo de Conhecimento e Tomada de Decisão**. Nota Técnica Ipardes, Curitiba, n.6, out. 2010. Disponível em: < [http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/NT\\_06\\_importancia\\_estatistica\\_tomada\\_decisao.pdf](http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/NT_06_importancia_estatistica_tomada_decisao.pdf)> Acesso: 18 abr. 2013

LÔBO, I.P; FERREIRA, S.L.C; CRUZ, R.S. **Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos**. Química Nova. Vol. 32, nº 6: 1596 – 1608. 2009.

MINITAB. **Software Minitab** © 14.1.0.0.. Minitab Inc. 2003.

MONTGOMERY, Douglas. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

MONTGOMERY, Douglas. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

NOMELINI, Q. S. S.; FERREIRA, E. B.; OLIVEIRA, M. S. **Estudos dos padrões de não aleatoriedade dos gráficos de controle de Shewhart: um enfoque probabilístico**. Revista Gestão & Produção. v: 16, n: 3, p. 414- 421, jul-set. 2002.

OAKLAND John S. **Statistical Process Control**. 5ª Ed. EUA: Elsevier, 2003.

PIRES, V. T. **Implementação do controle estatístico de processo em uma empresa de manufatura de óleo de arroz**. 2000. Dissertação (Mestrado profissionalizante em Engenharia) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

QUADROS, D.P.C.; CHAVES, E.S.; SILVA, J.S.A.; TEIXEIRA, L.S.G.; CURTIUS, A.J. ; PEREIRA, P.A.P. Contaminantes em Biodiesel e Controle de Qualidade. **Revista Virtual de Química**. Vol. 3: 376-384. 2011.

RATH & STRONG. **Six Sigma pocket guide**. Lexington: Massachusetts, 2006.

REBELATO, M. G.; FERNANDES, J. M. R.; RODRIGUES, A. M. **Proposta de integração entre métodos para planejamento e controle da qualidade**. Revista Gestão Industrial. Ponta Grossa. v: 4, n: 2, p. 162-185. 2008.

RAMOS, A.W. **CEP para processos contínuos e em bateladas**. São Paulo: Ed Edgard Blucher; 2000.

ROSA, Leandro Cantorski. **Introdução ao Controle Estatístico de processos**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2009.

RUNGER, G.C. & PIGNATIELLO, J.J., Jr. **Adaptative sampling for process control**. Journal of Quality Technology, vol. 23, n. 2, p. 135-155, 1991.

RUTHES, S., CERETTA, P. S. e SONZA, I. B. **Seis Sigma: melhoria da qualidade através da redução da variabilidade**. Revista Gestão Industrial – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2006.

SALSBURG, D. **Uma senhora toma chá...: como a estatística revolucionou a ciência no século XX**. Trad. de José Maurício Gradel, revisão técnica Suzana Herculano-Houzel. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2009. 286p.

SAMOHYL, R. W. **Controle Estatístico de Qualidade**. 1. ed. São Paulo: Elsevier Campus, 2009.

SANTOS, JKC, BATISTA, NS. **Controle estatístico de processo: uma ferramenta**

**para validação do processo de envase.** (Trabalho de Conclusão de Curso). Recife: Universidade Federal de Pernambuco. LAFEPE – Laboratório Farmacêutico do Estado de Pernambuco; 2005.

SANTOS, A. et al. **A importância dos gráficos de controle para monitorar a qualidade dos processos industriais: estudo de caso numa indústria metalúrgica.** In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão. Anais. Salvador, BA, Brasil, 06 a 09 de outubro de 2009.

SENAI (Serviço Nacional de Apoio à Indústria). **Elementos de Apoio para o Sistema APPCC.** 2 ed. Brasília-DF, 2000. (Série Qualidade e Segurança Alimentar). Projeto APPCC Indústria. Convênio CNI/SENAI/SEBRAE. p 297-352.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert & BETTS, Alan. **Gerenciamento de operações e de processos:** princípios e práticas de impacto estratégico. Porto Alegre: Bookman, 2008.

SOARES, G. M. V. P. P. **Aplicação do Controle Estatístico de Processos em Indústria de Bebidas: um estudo de caso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

SOUZA, A. M.; RIGÃO, M. H. **Identificação de variáveis fora de controle em processos produtivos multivariados.** Revista Produção. v: 15, n: 1, p. 74-86, jan/abr. 2005.