

**A IMPLANTAÇÃO DO CEP EM UMA ETAPA DO PROCESSO DA
FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA: UM ESTUDO DE CASO**

***THE IMPLEMENTATION OF THE CEP IN A STAGE OF THE PROCESS OF
ALCOHOLIC FERMENTATION: A CASE STUDY***

Jéssica Carolina Detoni¹

Samuel Pereira de Souza Dias²

Luiza Maria Pierini Machado³

RESUMO

O presente artigo teve como proposta analisar e implantar o controle estatístico do processo CEP na etapa do mosto na fermentação alcoólica, em uma empresa do segmento sucroalcooleiro. Ao analisar parâmetros de °Brix, temperatura e pH, implantou-se ferramentas de qualidade como folhas de verificação e os gráficos de controle para variáveis, para análise do comportamento do processo, definição da norma e posterior avaliação da capacidade do processo. Com os gráficos de controle já ajustados e a norma do processo definida, constatou que o processo é capaz de atender à especificação do pH e não consegue atender as especificações da empresa para as características de qualidade °Brix e temperatura. O CEP se implantado adequadamente propiciaria um aumento da eficiência do processo.

Palavras-chave: Fermentação alcoólica; mosto; gestão da qualidade; controle estatístico do processo; capacidade.

¹ Graduação no Centro Universitário UNIFAFIBE, Bebedouro SP. E-mail: jessica_detoni@hotmail.com

² Graduação no Centro Universitário UNIFAFIBE, Bebedouro SP. E-mail: samueldias03@hotmail.com

³ Docente no Centro Universitário UNIFAFIBE, Bebedouro SP. E-mail: lupierini@yahoo.com.br

ABSTRACT

This article's purpose is to analyze and implement the statistical process control – SPC - in the must stage of alcoholic fermentation, in a company of the sugar-alcohol segment. When analyzing parameters of degrees Brix (°Bx), temperature and pH, quality tools were implemented such as verification sheets and variables control charts, for analysis of process behavior, definition of norms and aftermost evaluation of the capability process. With the control charts already adjusted and the process standard defined, it was found that the process is able to meet the pH specification and that it cannot meet the company's specifications for °Bx quality and temperature characteristics. If properly implemented SPC would favor an increase in the efficiency of the process.

Keywords: Alcoholic fermentation; must; quality management; statistical process control; capability.

1. INTRODUÇÃO

A fermentação alcoólica ao longo dos anos tem sido um fenômeno que vem intrigando pesquisadores do mundo todo. O Brasil, o país como maior produtor de combustível extraído da cana de açúcar, vem aperfeiçoando técnicas para produzir em larga escala e alta qualidade. Em 1970, foi lançado o programa nacional do álcool que ganhou força em 1980 com a entrada de modelos de veículos movidos exclusivamente com o álcool, com isso a fermentação incorporou novas tecnologias e estudos a fim de obter um melhor rendimento que saltou de 75% em 1970 para mais de 90% no decorrer dos anos (AMORIM, 2005).

A gestão da qualidade tem como finalidade reduzir os desperdícios e os custos da não qualidade nas operações de produção. Assim, gerenciar a qualidade é buscar a padronização e conseqüentemente a melhoria contínua, diminuindo a ocorrência de falhas e desperdícios e aumentando as chances de atender as necessidades e expectativas dos clientes (CARPINETTI, 2012).

Segundo Amorim (2005), com o avanço da tecnologia, a qualidade na produção também evoluiu com os processos automatizados, coletas de dados em

tempo real e a qualidade total do processo desde a extração da cana de açúcar até o produto final.

Para Ramos, Almeida e Araújo (2013), as ferramentas utilizadas para o controle estatístico da qualidade, envolvem: Estratificação; Folhas de Verificação; Diagrama de Ishikawa; Gráfico de Pareto; Histograma e Diagrama de correlação ou diagrama de dispersão.

Se todo processo interno conduzir práticas de controle de qualidade de maneira autônoma, sem direcionamento estratégico, haveria vários processos fluindo de modo eficiente mesmo que cada um tivesse sua direção (CAMPOS, 2004).

O controle estatístico do processo (CEP) é um método estatístico utilizado para monitorar, planejar e aprimorar um processo produtivo através da coleta de dados, de um grupo de características que incidem na qualidade do processo produtivo, quando essas forem numéricas a cada produto ou serviço realiza-se o controle de variáveis do processo, por outro lado, quando a necessidade é a observação de irregularidades de fabricação em um conjunto de produtos, realiza-se o controle de atributos (LOUZADA et al., 2013).

Para Lopes e Borges (2011), o controle industrial é muito utilizado para manter a produção, e o nível de qualidade, dentro do que foi especificado. A qualidade do etanol pode interferir no retorno do que foi investido, no custo de mão de obra, na produção, nas vendas, dentre outros.

O controle do processo é necessário para que não resulte em itens não conformes, com defeito e a diminuição da variabilidade (TOLEDO et al., 2013).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é implantar o CEP em uma etapa do processo de fermentação alcoólica, através da análise do comportamento da etapa, definição da norma do processo e análise de sua capacidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceito da Gestão da Qualidade

A qualidade é um conceito espontâneo e pertinente a qualquer situação, serviço ou produto. As empresas estão constantemente avaliando ou sendo avaliadas através de diferentes parâmetros (MARSHALL et al., 2010).

Para Toledo et al. (2013), a gestão da qualidade refere-se ao grupo de atividades, detalhado e efetuado, no período e no conjunto de etapas consecutivas da produção, essencial para conseguir alcançar a qualidade planejada, com menor gasto possível.

A gestão da qualidade segundo Carpinetti (2012), também tem por intuito minimizar as perdas e os gastos da não qualidade na execução da produção, aumentando a eficiência da empresa e possibilitando preços mais competitivos.

De acordo com Martinelli (2008), a excelência do processo de melhoria contínua foi decorrente da evolução dos conceitos da qualidade, gestão da qualidade e qualidade total, em que as organizações querendo se manter competitivas no mercado, compreenderam que a busca pela eficiência e eficácia é de extrema importância.

2.2 Ferramentas da Qualidade

O principal objetivo das ferramentas da qualidade é auxiliar o processo de melhoria contínua, isto é, identificação dos problemas, as causas principais desses problemas, análise visando à eliminação ou a minimização dos mesmos, implantação e verificação dos resultados. Para contribuir no desenvolvimento dessas operações, foram desenvolvidas as sete ferramentas da qualidade que são: Estratificação, Folha de Verificação, Gráfico de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito, Histograma, Diagrama de Dispersão e Gráfico de Controle (CARPINETTI, 2012).

De acordo com Daychoum (2010), as folhas de verificação são tabelas ou planilhas utilizadas para simplificar a coleta e análise de dados, para que resulte em economia de tempo, suprimindo a necessidade em desenhar figuras ou descrever

números repetidos. É aplicada para o planejamento da coleta de dados a partir das necessidades de análise de dados futuros (CARPINETTI, 2012).

Para Ramos, Almeida e Araújo (2013), o histograma representa graficamente a distribuição de frequência de dados, em que a base condiz com o intervalo das classes e a altura com a frequência absoluta. Segundo Alves (2012), a utilização do histograma contribui para uma análise rápida dos dados, simples elaboração e facilita a resolução de problemas.

De acordo com Negreiros e Oliveira (2012), o diagrama de dispersão é aplicado para associar duas variáveis, auxiliando na verificação entre dois efeitos, duas causas ou causa e efeito do processo.

A estratificação constitui na separação de dados coletados em grupos definidos. Esses grupos podem ser classificados por local, data, turno, tipo dentre outros. Permite verificar os dados separadamente e encontrar a verdadeira causa do problema (PEINADO; GRAEML, 2007).

Para Negreiros e Oliveira (2012), o diagrama de causa e efeito, também conhecido como Diagrama de Ishikawa ou espinha de peixe, é utilizado quando há necessidade de verificar as principais causas que estão resultando em um problema no processo.

O Gráfico de Pareto é representado graficamente, em que os dados são apresentados por ordem de importância, prioridade e tamanho. É uma maneira de categorizar os problemas relacionados à qualidade em “poucos vitais” que são os problemas que geram uma grande quantidade de prejuízo ou defeitos, e os “muito triviais” que são os problemas que influenciam pouco a qualidade dos produtos ou serviços, permitindo verificar com eficiência esses tipos de problemas (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013).

De acordo com Samohyl (2009), o gráfico de controle é uma ferramenta que permite analisar as características do processo em representação gráfica. Possibilitando identificar as causas dos problemas, para executar medidas compensatórias.

2.3 Controle Estatístico De Processo (CEP)

Tradicionalmente, o CEP, é uma ferramenta estatística que auxilia no controle da qualidade nas etapas de um processo de produção repetitivo. Atualmente representa mais que uma ferramenta estatística, o CEP, é empregado como gerenciamento de processos, e visa o controle e a melhoria contínua do processo (TOLEDO et al., 2013).

O CEP segundo Peinado e Graeml (2007), é uma técnica que tem propriedades preventivas, em que a partir dos dados estatísticos, é possível verificar tendências e alterações significativas. Possibilita a comparação constante dos resultados do processo com os valores que foram determinados, com a finalidade de monitorar, diminuir e excluir alterações, antes que o produto apresente deformidades fora do que foi estabelecido como aprovável. O CEP é uma maneira de detectar os problemas e medir sua dimensão, para conseguir uma solução. Para Paladini (2002), o principal objetivo do CEP é melhorar a variabilidade dos processos consequentemente aumentando o nível de qualidade nos resultados da produção.

Para obter excelentes resultados com a utilização de ferramentas estatísticas, é necessário criar uma nova cultura dentro da empresa para que haja incentivo e colaboração de todos na procura da melhoria contínua do processo. A falta dessa nova cultura explica os casos de falhas da implantação do CEP nas empresas brasileiras (TOLEDO et al., 2013).

2.4 Gráficos de controle

De acordo com Marshall et al. (2010), os gráficos de controle servem para monitorar a variabilidade do processo, sendo reconhecida como causas comuns e aleatórias. As causas comuns são relativas ao andamento do próprio processo, e as causas especiais demonstram ocorrências fora dos limites de controle.

Segundo Carburon e Morales (2006), os gráficos de controle são compostos por três linhas paralelas, sendo: linha superior referente ao Limite Superior de Controle (LSC), a linha central referente a Média (\bar{X}), e a Linha Inferior referente ao Limite Inferior de Controle (LIC).

2.4.1 Gráficos de controle para Variáveis

Segundo Ramos, Almeida e Araújo (2013), os gráficos de controle para variáveis contribuem para monitorar o nível e a dispersão de um processo, sendo considerado como variável toda propriedade da qualidade que seja numérica.

No estudo elaborado por Souza, Domingos Filho e Samohyl (2007), visando à implantação do CEP em um processo siderúrgico, os resultados obtidos através das ferramentas estatísticas, conseguiram minimizar a variabilidade e identificar os pontos críticos do processo.

2.4.2 Gráfico de Controle (X e R)

Os gráficos da média e da amplitude são os mais utilizados. Os gráficos de X e R se acrescentam, devem ser elaborados simultaneamente. O objetivo do gráfico X é controlar a variabilidade, ao longo do tempo, no limite médio do processo e qualquer alteração que ocorrer. É também de extrema importância acompanhar a dispersão de um processo que ocorre como variabilidade devido a existência de causas assinaláveis, podendo ser detectados pelo gráfico R das amplitudes (TOLEDO et al., 2013).

Os processos precisam ser monitorados para identificar as causas especiais, as quais deverão ser investigadas para serem eliminadas. A sua realização é a partir da análise periódica das amostras, em que a cada período de tempo recolhe uma amostra de elementos para sua análise. A média X dos valores calculados e a amplitude da amostra R são calculadas para cada amostra. Os valores de X e R são apontados nos gráficos da média e amplitude (COSTA; EPPRECHET; CARPINETTI, 2014).

As expressões reproduzidas por Peinado e Graeml (2007), são utilizadas para encontrar os limites de controle dos gráficos de controle da média e da amplitude, quando a empresa não possui norma definida para o mesmo, sendo que os valores de A_2 , D_3 e D_4 são tabelados em função do tamanho da amostra.

Expressões para o limite dos gráficos de controle da média:

$$LSCx = \bar{\bar{X}} + \bar{A}_2 R$$

(1)

$$LCx = \bar{X}$$

(2)

$$LICx = \bar{X} - \bar{A}_2 R$$

(3)

Expressões para o limite dos gráficos de controle da amplitude:

$$LSCr = D_4 \bar{R}$$

(4)

$$LCr = \bar{R}$$

(5)

$$LICr = D_3 \bar{R}$$

(6)

2.5 Capabilidade

De acordo com Peinado e Graeml (2007), a capabilidade do processo procura controlar e verificar qual a capacidade que um processo tem para realizar aquilo que foi especificado.

A capabilidade do processo depende das próprias especificações e variabilidade do processo, constatando que ela não está relacionada somente com a presença e a falta das causas especiais, apesar de que seja evidente que a falta de estabilidade e/ou desajuste do processo, diminuem sua capabilidade e elevem a quantidade de itens não conformes produzidos. Os índices de capabilidade do processo servem para medir o quanto o processo está atendendo as especificações. Quanto maior o seu valor, melhor o processo para conseguir atender as especificações. Os índices de Cp e Cpk são os mais utilizados (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2014).

As expressões a seguir, apresentadas por Costa, Epprecht e Carpinetti (2014), são utilizadas para calcular os índices de capabilidade do processo, sendo LSE (Limite Superior de Especificação), LIE (Limite Inferior de Especificação) e σ (desvio padrão).

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

(7)

$$C_{pk} = \text{Min} \left\{ \frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right\}$$

(8)

Para analisar a capacidade do processo é relevante observar a centralização do resultado do processo com relação aos limites do que foi especificado. Dessa maneira, se ocorrer uma pequena descentralização, ou seja, se a média do processo coincidir com a média da especificação poderá gerar uma análise incorreta da capacidade, nestes casos utiliza-se o índice de Cpk, que considera a descentralização do processo. Um processo será considerado capaz quando Cp ou Cpk for maior que 1, ao contrário o processo será considerado como incapaz (TOLEDO et al., 2013).

Um estudo realizado por Silva, Sousa e Campos (2016), em uma indústria de cerâmica, foi aplicado os gráficos de controle de X e R, diagrama de Ishikawa e calculado a capacidade do processo, para auxiliar no monitoramento do processo. Após essa implantação, obtiveram como resultado a estabilização e a constatação de que o processo era capaz de atender as especificações determinadas pela empresa.

2.6 Fermentação Alcoólica

Fermentação alcoólica é o processo que gera a transformação de açúcares como glicose, frutose e sacarose em energia celular à medida que se produz etanol, gás carbônico, por meio de metabolismo anaeróbico. Este processo é catalisado por enzimas (CASADEI, 2012).

O processo de fermentação utilizado no Brasil é baseado na teoria de Melle Boinot, que tem como foco principal a retomada da levedura, por meio da centrifugação do vinho ou mosto fermentado. Na fermentação os açúcares são transformados em álcool, todo esse processo ocorre em tanques de diversas dimensões conhecidos como dornas, cujas capacidades variam de acordo com o

processo no qual se relacionam o mosto e o fermento de pé de cuba, que já é o fermento diluído e acidificado (RASOVSKY, 2009).

Após ocorrer todo processo de fermentação, o vinho delevurado é separado do fermento por meio do processo de centrifugação, no qual o vinho vai para as colunas de destilação e o fermento é reciclado, para se tornar um novo pé de cuba, para tanto ele será diluído em água e no decorrer do processo tratado com ácido sulfúrico (SOUZA, 2009).

2.7 Mosto

Para Lima et al. (2001), a cana de açúcar é processada na moenda e após ser esmagada seu caldo é bombeado para o tratamento de caldo. Após a chegada do caldo bruto inicia o processo chamado clarificação, que envolve o aquecimento, decantação e filtração, para separar coloides e materiais nitrogenados. Após esse processo o caldo se torna um mosto mais limpo, com alto teor de sacarose, que fermenta melhor.

Mosto é uma solução de açúcar, com concentração definida para tornar mais fácil sua fermentação, pode ser uma combinação de caldo e mel final, proveniente do processo de obtenção de açúcar ou caldo. A concentração (°Brix) deve ser estabelecida de acordo com o tempo de fermentação, conseguindo atingir até 26° Brix. Quando o °Brix do mosto estiver acima de 26° Brix, a solução é diluída em água (RASOVSKY, 2009).

2.8 Fatores que influenciam a fermentação alcoólica

Segundo Lima et al. (2001), muitos fatores, físicos, químicos, e microbiológicos podem afetar o rendimento da fermentação, dentre eles: temperatura, pH, viabilidade celular e contaminação, os quais levam à formação de produtos secundários como glicerol, ácidos orgânicos e biomassa, além de perda de rendimento.

O pH é controlado com ácido sulfúrico, nas fermentações que reutilizam a levedura o tratamento do pH deve estar entre 2,0 a 3,2, que atua como antisséptico em oposição a contaminação bacteriana, e se tornou o método mais aplicado para tratar bactérias contaminantes. Estudos feitos nas fermentações mostram uma

redução de 44% das bactérias contaminantes existente no fermento, quando o mesmo é mantido diariamente nos níveis corretos de controle (pH= 2,0 — 3,2), o que possibilita uma fermentação mais homogênea e com menor variação no processo (CASADEI, 2012).

Segundo Marques e Serra (2004), a viabilidade celular é prejudicada pela presença elevada de teores alcoólicos, no qual os alcoóis etílicos são reduzidos em pequenas quantidades pelo metabolismo das leveduras, e o etanol atinge a membrana lipoproteica das mesmas, com isso o processo de fermentação ocorre de maneira insuficiente, produzindo menos, e fora do padrão de qualidade.

A temperatura é um fator fundamental para um bom rendimento da fermentação, para satisfazer às necessidades do processo a temperatura da fermentação deve estar entre 26° e 35°C, raramente a temperatura nas destilarias ultrapassa 38°C, quanto maior a temperatura maior a velocidade de fermentação, mas por outro lado, aumenta também a contaminação bacteriana, e há maior perda de etanol por evaporação (LIMA et al., 2001).

De acordo com Lima e Marcondes (2002), a contaminação pode ocorrer através de diversas origens, desde a água, o ar, os produtos químicos dentre outros. Na maioria das vezes a formação de espumas é uma demonstração de contaminação. Pode-se dizer que nos meios fermentativos a contaminação está sempre presente onde estão os nutrientes e as temperaturas adequadas. O problema pode ser controlado com aplicação de vários produtos químicos como antibióticos, ácidos, cloro entre outros.

2.9 Práticas da Fermentação Alcoólica

Inicialmente, após o tratamento de caldo, segue-se o preparo do mosto. O processo é iniciado com a diluição da concentração de sólido solúveis totais (°Brix) no caldo. Pode ser adicionado outras substâncias nesse processo, como o melaço, com baixo teor de sacarose retirado ao máximo do cozimento, mas ainda, rico em sacarose, glicose e frutose, que contribuem na produção do etanol (DIAS, 2008).

O tempo de duração da fase preliminar depende do sistema de fermentação e o processo adotado pela destilaria, sendo que esse tempo pode ser reduzido com o emprego de um inóculo bem volumoso (LIMA et al., 2001).

A fase tumultuosa é caracterizada por um maior aumento na produção de dióxido de carbono que procede da conversão de açúcares em etanol e CO₂, quando começa a se distribuir os açúcares presentes no mosto. É a fase de maior duração, a temperatura aumenta rapidamente, aumentam-se os índices em porcentagem de álcool e acidez, o substrato agita-se como em ebulição. Algumas alterações do aumento rápido de temperatura se corrigem com sistemas de refrigeração (LIMA et al., 2001).

A levedura por sua vez é transportada para cubas de tratamento onde as mesmas são diluídas com água, em seguida acrescenta-se ácido sulfúrico para baixar o pH à 2,5 com isso eliminando bactérias contaminantes, maiores gastos com antibióticos e dispersantes (DIAS, 2008).

Na fase complementar o dióxido de carbono começa diminuir a intensidade, pois ocorre menor agitação e baixa elevação da temperatura, por esse motivo a concentração de açúcar termina. Observa-se um aumento na proporção de álcool no processo, ocorre menor produção de espumas, o vinho fica retido na dorna por um tempo determinado em função dos parâmetros da fermentação (LIMA et al., 2001).

O processo de destilação constitui-se da separação dos líquidos que contam com pontos de volatilização diferentes. O vinho delevurado é bombeado para destilação onde se separa o etanol de outras substâncias presentes no vinho. A concentração de etanol no vinho é de 7 a 9º GL, no entanto contém água e outras substâncias (MARAFANTE, 1993).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e período da pesquisa e aplicação

Estudo de caso baseado em uma empresa no setor sucroalcooleiro, localizado no interior do estado de São Paulo, considerado como referência regional na produção e comercialização de açúcar e álcool provenientes do processamento da cana-de-açúcar. A empresa produz em média 22.000 toneladas de açúcar diariamente e 340.000 litros de álcool, o que a destaca no cenário sucroalcooleiro.

A empresa tem como estratégia ótimas relações com os fornecedores de produtos terceiros, trabalhando com categorias de produto como produtos químicos, sal, aço, metais entre outros. Assim, a empresa vem se tornando uma grande distribuidora de açúcar, álcool, cogeração de energia e ração animal, expandindo sua cadeia de suprimentos, mantendo atualmente três turnos para processamento.

Para a produção de álcool, a etapa da fermentação é um dos pontos críticos para obtenção de produto com a qualidade e quantidade esperada. Em função desta importância é nesta etapa que será realizado um estudo durante o mês de junho de 2017.

3.2 Desenvolvimento

O estudo foi conduzido através de análises quantitativas de características de qualidade que interferem no processo de fermentação, quando não adequadamente monitoradas.

Para a realização do estudo foi inicialmente empregada uma folha de verificação, indicando setor, equipamento, horário das coletas de amostras e o responsável pela coleta e análises.

Estas informações embasaram o estudo descritivo do atual comportamento do processo, possibilitando a definição de uma norma de controle para o processo e posterior análise da capacidade do mesmo, ou seja, sua capacidade em atender as especificações para estas características variáveis de qualidade, estabelecidas pela própria empresa.

3.3 Análise de dados

Os dados referentes às análises de °Brix e temperatura, foram obtidos através de amostras retiradas, de hora em hora, e o pH três vezes ao dia, diretamente da etapa do mosto na fermentação alcoólica, especificamente no setor responsável pelo processamento do álcool, que é a destilaria, uma vez que possuem grande relação na produção total da usina.

Com os resultados das análises laboratoriais obtidos das amostras extraídas do mosto foram construídas Cartas de Controle de Processo para variáveis do tipo X e R, ou seja, de média e dispersão através do cálculo da amplitude. Como a

empresa não possui norma definida de processo, os gráficos foram ajustados para definição da norma de controle.

Após a verificação do comportamento do processo e a constatação do mesmo sob controle estatístico foi calculada a capacidade do processo, utilizando os dados de especificação para estas características (°Brix, temperatura e pH) definidos pela empresa.

4. RESULTADOS

As amostras (n=5) foram coletadas no processo de fermentação alcoólica na etapa do mosto, e analisadas referentes ao °Brix, temperatura e pH, durante 6 dias no mês de junho. As análises de °Brix e temperatura foram realizadas de hora em hora e o de pH três vezes ao dia. Com os dados coletados foram calculados os valores médios e amplitude de cada amostra. Na tabela 1 estão apresentados os valores médios (média e amplitude) diários de cada característica analisada.

Tabela 1. Valores médios e amplitude das análises de °Brix, Temperatura °C e pH no período de 6 dias na etapa do mosto na fermentação alcoólica

Dias	°Brix		Temperatura °C		pH	
	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude
1º Dia	23,29	0,19	30,17	1,75	5,91	0,11
2º Dia	23,31	0,2	29,81	2,46	5,89	0,09
3º Dia	20,7	0,32	28,03	3,42	5,88	0,06
4º Dia	22,61	0,31	29,1	2,79	5,9	0,03
5º Dia	22,47	0,32	28,85	2,92	5,88	0,04
6º Dia	20,96	0,34	29,15	2,88	5,94	0,06

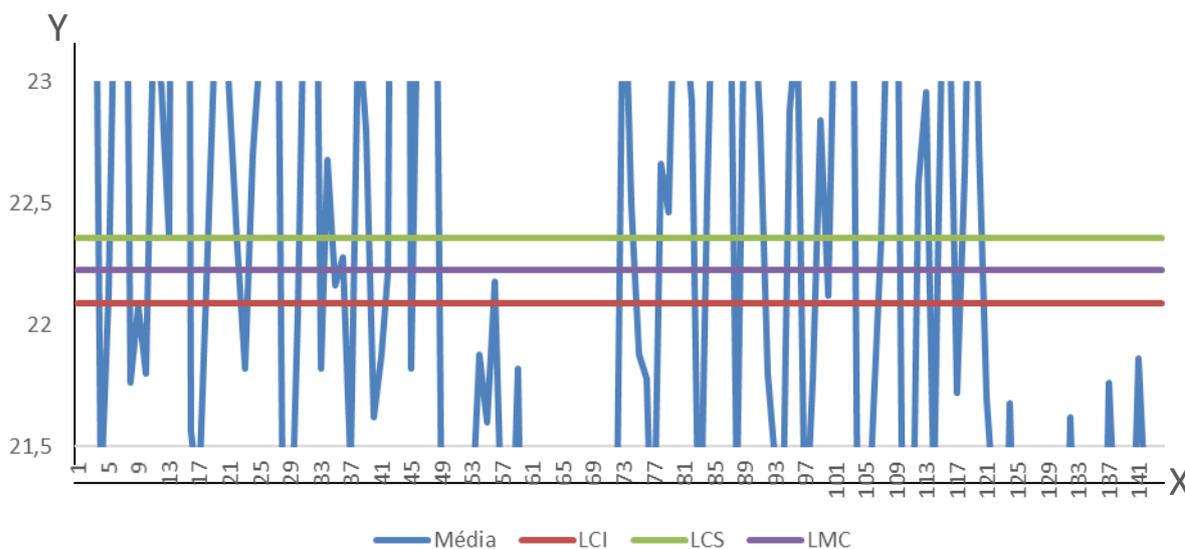
Fonte: Autoria própria (2017)

4.1 Análise do comportamento de °Brix no processo da fermentação alcoólica na etapa do mosto.

O gráfico 1 apresenta a média com os valores médios da concentração em graus °Brix. Pode-se observar que os limites de controle definidos a partir dos dados coletados, são muito próximos, justificado pela baixa dispersão observada entre as

amostras. Tal fato, gerou a maioria dos pontos fora dos limites de controle, indicando que o processo se manteve totalmente fora de controle estatístico, no período analisado.

Gráfico 1. Média para os valores de °Brix das amostras extraídas do mosto.



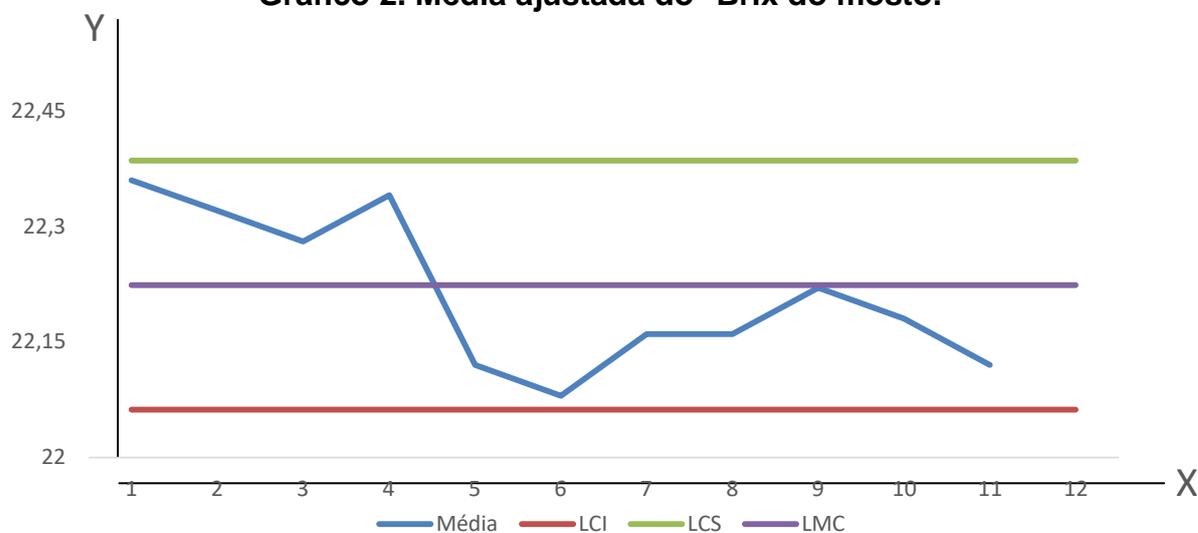
Fonte: Autoria própria (2017)

O gráfico precisou ser ajustado, pois vários pontos oscilaram fora dos limites de controle, estes pontos são decorrentes de causas especiais de variações, ou seja, ocorrências anormais no processo as geraram, comprovando as afirmações de Costa, Eprechet e Carpinetti (2014). O gráfico 2, apresenta o ajuste das médias de °Brix, pode-se verificar que mesmo ajustado, o processo se mantém oscilando, predominantemente entre a linha média e o limite inferior de controle, entretanto, como as causas especiais foram eliminadas, as variações ocorreram dentro dos limites de controle.

O gráfico 3, que apresenta a amplitude dos valores de °Brix verifica-se que as médias variaram muito, porque de hora em hora a entrada de material para ser fermentado ocorria de maneira descontrolada, alterando a concentração (°Brix) do mosto, entretanto, as diferenças observadas (amplitudes) foram mínimas, isto porque, na mesma amostra havia homogeneidade, o que não ocorria entre as amostras ao longo do dia, embora esta variação seja pequena.

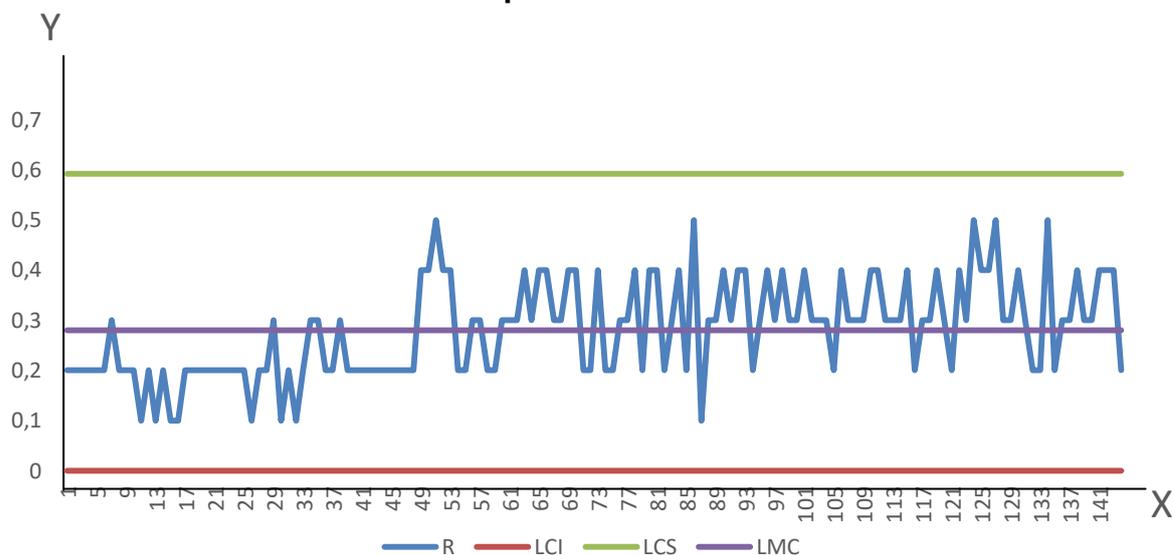
Com o processo ajustado é possível estabelecer a norma para o monitoramento do processo para a característica de qualidade °Brix. A norma foi definida como $\mu = 22,22$ e $\delta = 0,12$.

Gráfico 2. Média ajustada do °Brix do mosto.



Fonte: Autoria própria (2017)

Gráfico 3. Amplitude do °Brix do mosto.



Fonte: Autoria própria (2017)

Com os valores extraídos do processo já mantidos sob controle, foi possível determinar a capacidade do processo. A empresa especifica em seus

Procedimentos Operacionais Padrão que os valores de °Brix devem oscilar entre 10 e 20 °Brix. Como a média do processo não é coincidente, ou seja, a média do processo está acima do valor máximo definido pela empresa, calculou-se a capacidade parcial, $CpK_{superior} = -6,17$ e $CpK_{inferior} = 33,94$.

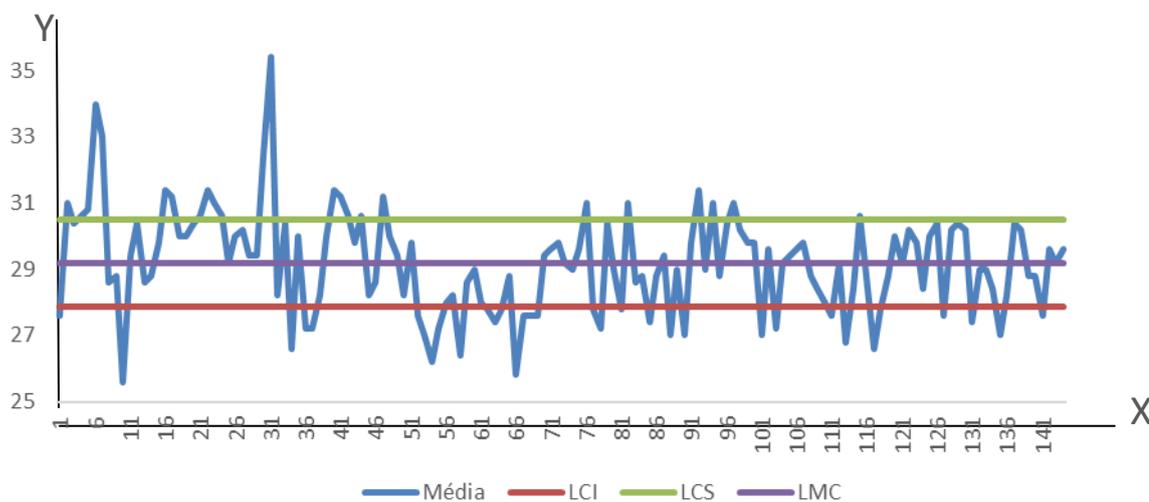
De acordo com Toledo et al. (2013), um processo será considerado capaz quando Cp ou Cpk for maior que 1, devendo ser considerado o menor valor obtido nos cálculos de Cpk, ao contrário o processo será considerado como incapaz. Perante esta constatação, pode-se deduzir que o processo é incapaz em função dos valores médios ($LM = 22,22$) estarem oscilando acima da especificação (valor máximo permitido = 20). Tal fato pode ser justificado pelo controle manual exercido neste processo, quando a vazão de entrada na dorna oscila, o °Brix do mosto também oscila, de forma homogênea.

Uma solução para controlar o °Brix, seria instalar um medidor de °Brix automático na linha de vazão do mosto, que possibilitaria ao operador controlar adequadamente a vazão conforme a necessidade do processo.

4.2 Análise do comportamento da temperatura no processo da fermentação alcoólica na etapa do mosto.

O gráfico 4, apresenta a média das amostras de temperatura retiradas de hora em hora do processo do mosto. Pode-se verificar uma grande oscilação da temperatura na dorna do mosto, que segundo Lima et al. (2011), quanto maior a temperatura maior a velocidade de fermentação, mas por outro lado, aumenta também a contaminação bacteriana e há maior perda de etanol por evaporação. Como a temperatura tem influência direta na ação das leveduras no processo, este comportamento observado demonstra uma total falta de controle na linha.

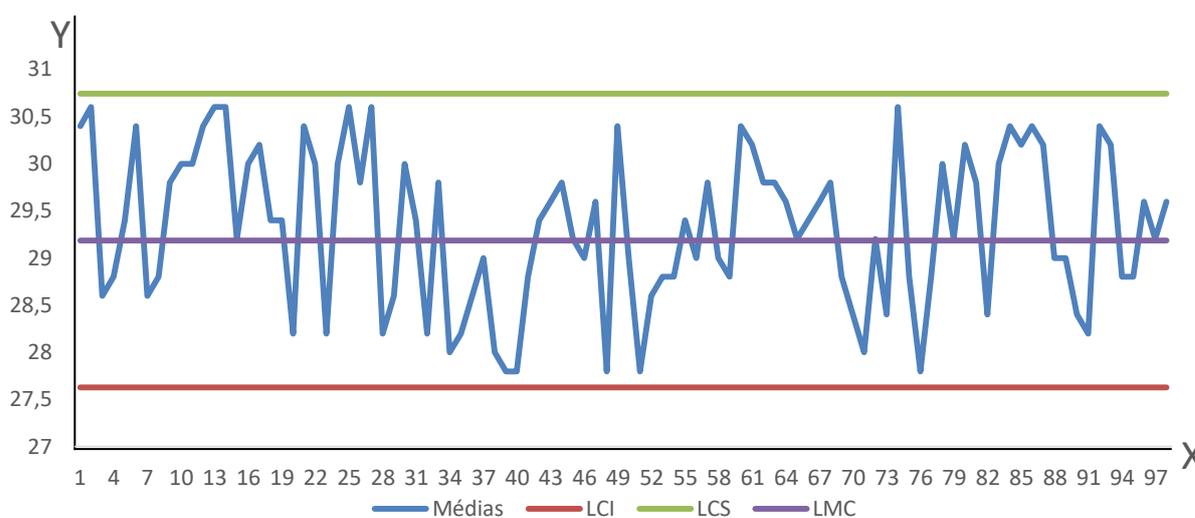
Gráfico 4. Média para os valores de temperatura das amostras extraídas do mosto.



Fonte: Autoria própria (2017)

Com os pontos oscilando fora dos limites de controle, o gráfico precisou ser ajustado, eliminando todos os pontos acima da linha superior e abaixo da linha inferior. Após o gráfico ajustado, os pontos permanecem oscilando, mas dentro dos limites de controle, como mostra o gráfico 5.

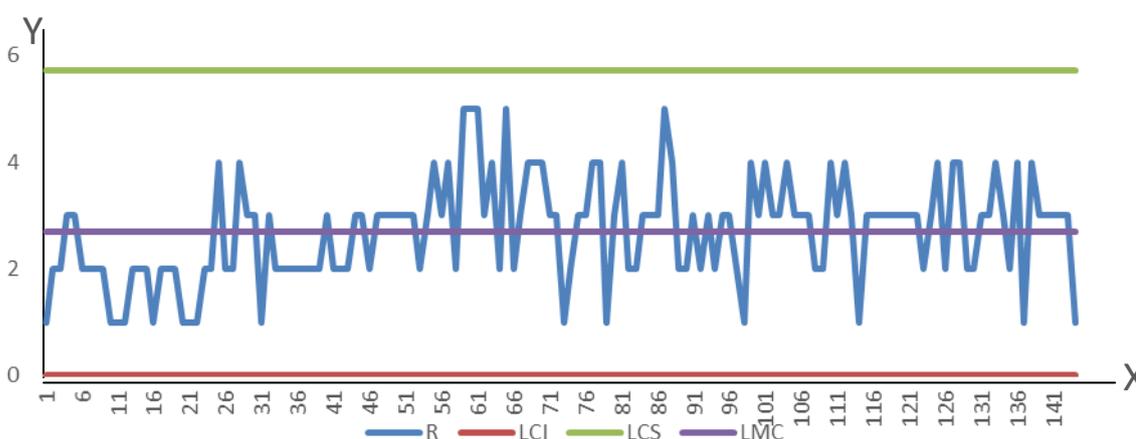
Gráfico 5. Média ajustada da temperatura do mosto.



Fonte: Autoria própria (2017)

De acordo com Lima et al. (2001), a temperatura é um fator fundamental para um bom rendimento da fermentação, para satisfazer às necessidades do processo a temperatura da fermentação deve estar entre 26° e 35°C, raramente a temperatura nas destilarias ultrapassa 38°C, quanto maior a temperatura maior a velocidade de fermentação, mas por outro lado, aumenta também a contaminação bacteriana, e ocorre maior perda de etanol por evaporação. De acordo com o Procedimento Operacional Padrão da empresa, a especificação para a temperatura é de 27 a 30°C, um pouco abaixo do apresentado por (LIMA et al.,2001).

Gráfico 6. Amplitude da temperatura °C do mosto.



Fonte: Autoria própria (2017)

Ao analisar o gráfico da amplitude, apresentado no gráfico 6, foi possível identificar uma grande variação, mas dentro dos limites de controle, indicando que a empresa deve tomar ações de melhoria visando diminuir a variação da temperatura, uma vez que oscilações de temperatura interferem na atuação das leveduras e conseqüentemente no rendimento do processo.

Com o processo ajustado foi possível estabelecer a norma para o monitoramento do processo, para a característica de qualidade temperatura.

A norma foi definida a partir dos dados extraídos do processo como $\mu = 29,19$ e $\delta = 1,16$.

Após o ajuste realizado com os dados extraídos do processo, o mesmo se manteve sob controle, o que possibilitou definir sua capacidade, a partir das

informações da especificação da empresa. Como a média do processo não é coincidente com a média da especificação definiu-se a capacidade parcial, com $Cpk_{superior} = 0,23$ e $Cpk_{inferior} = 0,63$.

Ramos, Almeida e Araújo (2013), ponderam que a capacidade do processo busca identificar se o processo atende ou não as especificações da empresa. Sob este aspecto como o Cpk Superior e Inferior apresentaram-se abaixo de 1, pode-se considerar que o processo é incapaz de atender às especificações. Este fato pode ser justificado em virtude do processo possuir um controle manual da vazão da água nos trocadores de calor, não conseguindo fazer a troca de calor do caldo, que vem da etapa de tratamento com temperatura elevada, atingindo o mosto ainda muito aquecido, gerando esta variação constante da temperatura do mosto.

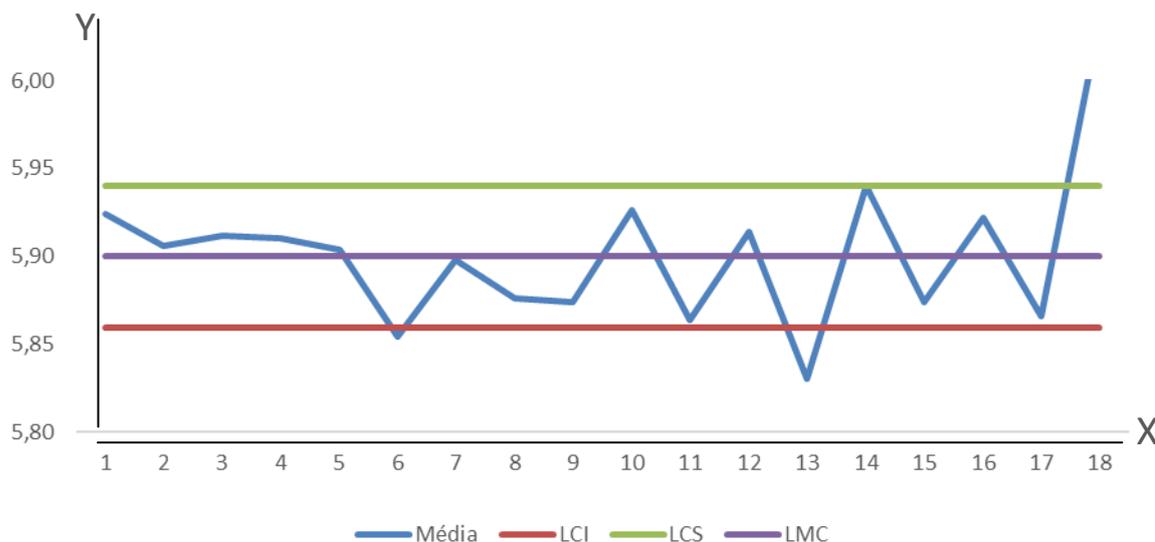
Uma das medidas para resolver este problema poderia ser a implantação de novos trocadores de calor e uma válvula automática no controle da água, conseguindo assim diminuir a variação e atender a especificação da empresa.

4.3 Análise do comportamento do pH no processo da fermentação alcoólica na etapa do mosto.

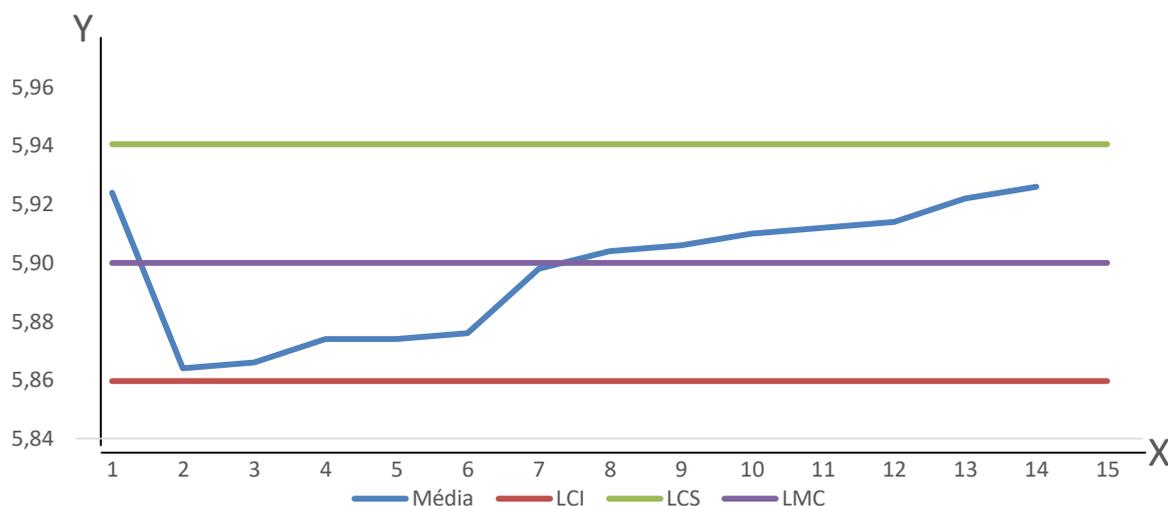
No gráfico 7, mostra a média de pH das amostras retiradas três vezes ao dia do processo do mosto. Analisando o comportamento pode-se verificar uma variação do pH que em alguns momentos extrapolaram os limites de controle.

O gráfico 7 precisou ser ajustado, pois alguns pontos estavam oscilando fora dos limites de controle, estes pontos fora são decorrentes de causas especiais não normais ao processo e que geraram variações acima do esperado.

Após o ajuste do gráfico, os pontos permaneceram oscilando, agora dentro dos limites de controle, entretanto, com uma nítida tendência a sair fora de controle, no limite superior, como mostra o gráfico 8. O aumento do pH pode ser um indício de contaminação por bactérias no mosto.

Gráfico 7. Média para os valores de pH das amostras extraídas do mosto.

Fonte: Autoria própria (2017)

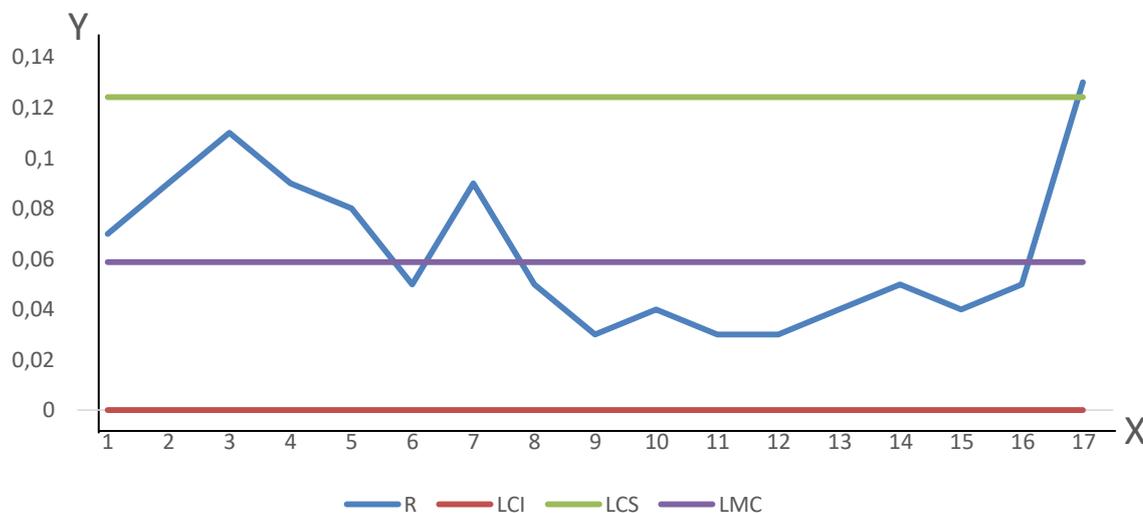
Gráfico 8. Média ajustada do pH do mosto.

Fonte: Autoria própria (2017)

Ao observar o gráfico 9 da amplitude, pode-se identificar que ainda existiam pontos fora dos limites, tal fato não era esperado, uma vez que as maiores causas de variação do nível já haviam sido eliminadas. Entretanto, em um determinado momento pode-se verificar que a heterogeneidade foi maior do que o permitido, ou seja, houve uma variação razoável do pH dentro das amostras, o que gerou a necessidade de novo ajuste nos gráficos de controle.

Após o ajuste os pontos oscilaram, mas dentro dos limites de controle, como pode ser observado no gráfico 9.

Gráfico 9. Amplitude ajustada do pH do mosto.



Fonte: Autoria própria (2017)

Com o processo ajustado foi possível estabelecer a norma para o monitoramento da característica do pH. A norma foi definida como $\mu = 5,90$ e $\delta = 0,03$.

Com os valores obtidos das amostras extraídas do processo, após ajuste e manutenção da característica de qualidade sob controle, foi possível calcular a capacidade do processo. Sabendo-se que a empresa especifica que o pH deve estar entre 5,6 e 6,13, pode-se perceber que a média do processo se mantém um pouco acima do mínimo desejado, indicando um deslocamento da média. Desta forma foram calculados os índices parciais, $CpK_{superior} = 2,55$ e $CpK_{inferior} = 3,33$.

Como o menor valor observado entre o Cpk Superior e Inferior está acima de 1,33, pode-se considerar que o processo é capaz de atender as especificações da empresa para a característica de pH.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo de caso, comprovou a necessidade de implantação dos gráficos de CEP como uma ferramenta para possibilitar detectar as oscilações do processo.

No período analisado, o processo não conseguiu atender as especificações da empresa para as características de qualidade, °Brix e temperatura.

A implantação do CEP possibilitou à empresa detectar a existência de problemas e auxiliou nas tomadas de decisões.

Apenas uma variável estudada (pH) atendeu a especificação da empresa, no período estudado, possibilitando uma fermentação mais homogênea e com menos variação no processo.

No período estudado se a empresa tivesse realmente implantado o CEP, conseguiria aumentar sua eficiência de processo, diminuindo a variabilidade e consequentemente aumentando sua produtividade e competitividade no mercado.

REFERÊNCIAS

- ALVES, V. L. S. *Gestão da qualidade: ferramentas utilizadas no contexto contemporâneo da saúde*. 2. ed. Campinas: Martinari, 2012.
- AMORIM, H. V. (Org.). *Fermentação alcoólica: ciência e tecnologia*. Piracicaba: Fermentec, 2005.
- CAMPOS, V. F. *TQC – Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)*. 8. ed. Minas Gerais: INDG Tecnologia e Serviços, 2004.
- CARBURON, J.; MORALES, D. Aplicação do Controle Estatístico de Processo em uma Indústria do setor metal-mecânico: um estudo de caso. In: SIMPEP, 13, 2006, Bauru, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/832.pdf> Acesso 19 abr. 2017.
- CARPINETTI, L. C. R. *Gestão da qualidade: conceitos e técnicas*. 2. d. São Paulo: Atlas, 2012.
- CASADEI, M. E. *Processos fermentativos a partir da cana-de-açúcar*. 39 f. Trabalho de graduação (Tecnologia em Biocombustíveis) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Araçatuba, 2012.

- COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. *Controle estatístico da qualidade*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2014.
- DAYCHOUM, M. *40 + 4 ferramentas e técnicas de gerenciamento*. 3. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2010.
- DIAS, M. O. S. *Simulação do processo de etanol a partir do açúcar e do bagaço, visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes do bagaço*. 2008. 282p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- LIMA, L. R.; MARCONDES, A. A. *Álcool carburante: uma estratégia brasileira*. Curitiba: Editora UFPR, 2002.
- LIMA, U.A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. *Biotecnologia industrial: processos fermentativos e enzimáticos*. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. v. 3.
- LOPES, C. H.; BORGES, M.T.M.R. *Controle na fabricação de álcool*. São Carlos: Edufscar, 2011.
- LOUZADA, F. et al. *Controle estatístico de processos: uma abordagem prática para cursos de engenharia e administração*. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- MARAFANTE, L. J. *Tecnologia da fabricação do açúcar e do álcool*. São Paulo: Ícone, 1993.
- MARQUES, T. A.; SERRA, G. E. *Estudo da ciclagem de células na produção biológica de etanol*. Ciência Tecnológica de Alimento: Campinas, 2004.
- MARSHALL, J. et al. *Gestão da qualidade*. 9. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2010.
- MARTINELLI, F. B. *Gestão da qualidade total*. Curitiba, PR: IESDE. Brasil, 2008.
- NEGREIROS, R.; OLIVEIRA, A. A aplicação das ferramentas da qualidade numa fábrica de derivados de milho. In: SEPRONE, 7., Mossoró: Rio Grande do Norte, 2012.
- PALADINI, E.P. *Avaliação estratégica da qualidade*. São Paulo: Atlas, 2002.
- PEINADO, J.; GRAEML, A. R. *Administração da produção: operações industriais e de serviços*. Curitiba: UnicenP, 2007.
- RAMOS, E. M. L. S.; ALMEIDA, S.S.; ARAÚJO, A. R. *Controle estatístico da qualidade*. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- RASOVSKY, E. M. *Álcool: destilarias*. Rio de Janeiro: Instituto do Açúcar e do Alcool, 2009. (Coleção Canavieira, n. 12).

SAMOHYL, R. *Controle estatístico de qualidade*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SILVA, J. P. S.; SOUZA, A. A. S.; CAMPOS, B. N. S. Análise da aplicação de ferramentas básicas da qualidade para o monitoramento do processo em uma indústria do setor cerâmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 36., 2016, João Pessoa. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_227_325_29701.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2017.

SOUZA, C. S. *Avaliação da produção de etanol em temperaturas elevadas por uma linhagem de S. cerevisiae*. 49 p. 2009. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Instituto Butantan, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SOUZA, G. P.; DOMINGOS FILHO, M.; SAMOHYL, R. W. Aplicação dos conceitos de Controle Estatístico de Processo (CEP) em uma indústria de fundição do Norte Catarinense. *Revista Produção Online*, Santa Catarina, v. 7, n. 2, p. 64-84, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v7i2.73>>. Acesso em: 21 abr. 2017.

TOLEDO, J. C. et al. *Qualidade: gestão e métodos*. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

Recebido em 6/12/2017

Aprovado em 19/12/2017