

PERDA DE EFICIÊNCIA NA DESTILARIA: UM ESTUDO DE CASO DA OSCILAÇÃO DO VAPOR VEGETAL NAS COLUNAS DE DESTILAÇÃO

LOSS OF DISTILLERY EFFICIENCY: A CASE STUDY OF VEGETABLE STEAM
OSCILLATION IN THE DISTILLATION COLUMNS

Cássia Beatriz BONATTO^{1,1}

Paulo de Tarso Fernandes Ramos do REGO^{1,2}

¹ Centro Universitário Hermínio Ometto – FHO|UNIARARAS, Araras, SP.

¹ Discente

² Orientador

cassiabonato@hotmail.com.br

Endereço: Sítio Bonato, s/n, Núcleo Caio Prado, Araras/SP.

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar, e já produz quase um quarto do etanol gerado no mundo. Para isso, o setor sucroalcooleiro vem crescendo e se modernizando, desde a lavoura de cana-de-açúcar até a indústria para obter ganhos de eficiência e produtividade na produção de açúcar, etanol e energia. Porém, há interferências que geram uma perda de eficiência na etapa de destilação das empresas deste setor. Neste presente estudo, buscou-se entender a perda de eficiência na destilaria de uma empresa de grande porte, causada pela oscilação do vapor vegetal nas colunas de destilação, utilizando ferramentas da qualidade como Diagrama de Pareto para encontrar a principal causa e Diagrama de Ishikawa, analisando todos os fatores que envolvem o processo, a fim de identificar quais têm maior impacto no processo de obtenção do etanol, e propor sugestões para mitigá-los ou até mesmo eliminá-los.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência; Destilaria; Vapor Vegetal.

ABSTRACT

Brazil is one the more largest producers of sugarcane, and already produces almost a quarter of the ethanol generated in the world. For this, the sugar and alcohol sector has been growing and modernizing, since sugarcane crops to industry, for obtain efficiency and productivity gains in the production of sugar, ethanol and energy. However, there are interferences that generate a loss of efficiency in the distillation step, of companies in this sector. The present study sought to understand the loss of efficiency in the distillation of a large company, caused by the oscillation of vegetable vapor in the distillation columns, using quality tools, like Pareto Diagram to find the main cause, and Ishikawa Diagram analyzing all the factors that involve the process, in order to identify which ones have the greatest impact on the process of obtaining ethanol, and propose suggestions to mitigate or even eliminate them.

KEYWORDS: Efficiency; Distillery; Vegetable Steam.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, sendo a região Sudeste responsável por 80% da produção de etanol destinada à exportação.

O estado de São Paulo é responsável por uma crescente e significativa produção que corresponde a 88% do volume de cana-de-açúcar; 89% do de etanol e 90% do de açúcar produzido no Brasil (RODRIGUES; ORTIZ, 2006). Essa grande empresa do setor sucroalcooleiro em que foi realizado este estudo de caso produz em torno de 200 mil toneladas de açúcar e 100 milhões de litros de etanol por safra.

O etanol é obtido pelo processo de destilação onde acontece a separação do etanol do vinho, tendo como princípio o fenômeno de equilíbrio líquido-vapor dos componentes do vinho. Para Bessa (2012), a Coluna A opera como seção de esgotamento do vinho e a coluna B como seção de enriquecimento e retificação da flegma. O vinho é alimentado no topo da coluna A, submetido ao processo de destilação que resulta em duas frações: a flegma e a vinhaça. A primeira é uma mistura hidroalcoólica impura, que envolve em sua composição praticamente todas as substâncias voláteis que se encontravam no vinho, a vinhaça que é o resíduo da destilação. Para a obtenção de um álcool livre de substâncias indesejáveis, com a concentração desejada, é necessário que a flegma seja submetida a um processo de purificação, denominado retificação, realizado na coluna B para a produção de etanol hidratado. A Figura 1 apresenta um esquema para melhor entendimento dessa explicação (BESSA, 2012).

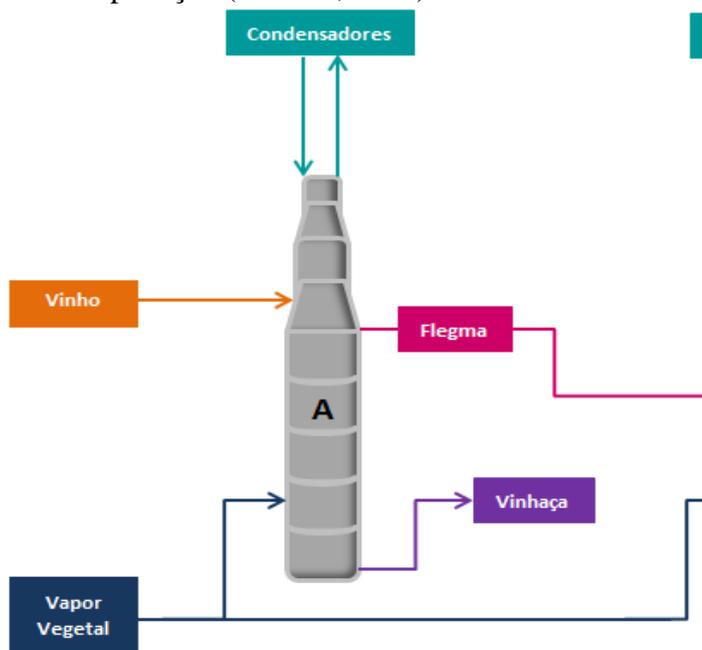


Figura 1: Colunas de Destilação (Próprio Autor, 2019).

O vapor vegetal obtido no processo de evaporação do caldo clarificado para a produção de açúcar é destinado à etapa de destilação da empresa, onde as colunas de destilação são aquecidas indiretamente com esse vapor vegetal, que é o mais eficiente a ser utilizado para essa finalidade. Porém, o uso de vapor na coluna de destilação tem influência nas variações de composição dos produtos finais, na composição de resíduos e na efetividade de separação do produto de interesse (PRUDENCIATO, 2011). A oscilação do vapor vegetal na destilaria é algo desvantajoso para a produção, pois influencia nas perdas, gerando maior produção de resíduos, como a vinhaça gerada na Coluna A e a flegma na Coluna B.

O presente estudo de caso tem como objetivo encontrar os principais fatores que causam a perda de eficiência no processo de obtenção do etanol, através da destilação. Com o auxílio de ferramentas da qualidade, é possível encontrar os fatores que exercem maior influência, tendo como um dos principais a oscilação do vapor vegetal. Dessa forma, consegue-se buscar a causa dessa oscilação.

FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE CAUSA RAIZ

Para Peinado e Graeml (2007), o assunto qualidade passou a ser abordado como forte prioridade competitiva na década de 70. As práticas modernas da qualidade foram moldadas por contribuições de personagens, como W. Edwards Deming, Joseph M. Juran, Armand Feigenbaum, Philip Crosby, Karou Ishikawa, Genichi Taguchi e Vilfredo Pareto, que passaram a serem conhecidos nos meios empresariais como os gurus da qualidade.

Existem ferramentas da qualidade que tornam a análise de causa raiz mais precisa, permitindo maior visibilidade e clareza no acompanhamento e detecção de possíveis falhas e pontos a serem melhorados. Uma dessas ferramentas é o Diagrama de Pareto, que permite fácil visualização e identificação das causas ou problemas mais importantes, possibilitando a periodização dos problemas (NEUMANN; CALMON; AGUIAR, 2013).

Segundo Neumann, Calmon e Aguiar (2013), o princípio de Pareto significa que um pequeno número de causas, geralmente 20%, é responsável pela maioria dos problemas, geralmente 80%. Esse

princípio serve de base para o Diagrama de Pareto, que consiste em um gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências da maior para a menor, permitindo a priorização dos problemas.

Os problemas mais frequentes são sempre mostrados ao lado esquerdo do gráfico, priorizando quantitativamente os itens mais importantes, seguidos pelos problemas menos importantes, de forma que auxilie a visualização dos efeitos ou causas. Os totais absolutos de efeitos são sempre mostrados no lado esquerdo. Os percentuais cumulativos são sempre mostrados no lado direito, de maneira que permita a fácil comparação entre a frequência de uma falha (ARAÚJO et al., 2001; ALENCAR, 2008).

Após identificar a principal falha, há outra ferramenta de qualidade que pode auxiliar na identificação, exploração e apresentação das possíveis causas de uma situação ou problema específico, chamada de diagrama espinha de peixe, devido à sua forma, ou Diagrama de Ishikawa (PEINADO; GRAEML, 2007).

Ishikawa, criador dessa ferramenta, chegou a definir qualidade como “fazer as coisas óbvias”, argumentando que 95% dos problemas inerentes à qualidade podem ser resolvidos apenas com o uso de ferramentas básicas da qualidade (PEINADO; GRAEML, 2007). Esse diagrama consiste em uma forma gráfica usada como metodologia de análise para representar fatores de influência sobre um determinado problema. Pode ser elaborado da seguinte forma: primeiramente, determinar o problema; em seguida, relatar sobre as possíveis causas e registrá-las no diagrama, construir o diagrama agrupando as causas em “6M” que são mão-de-obra, método, matéria-prima, medida e meio-ambiente, e então por meio da análise do diagrama identificar as causas verdadeiras, e assim encontrar a solução do problema (FORNARI JUNIOR, 2010).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo de caso visa encontrar o principal problema causador da perda de eficiência na destilaria de uma empresa do setor sucroalcooleiro, utilizando ferramentas da qualidade, que apesar de serem relativamente

Gráfico I: Eficiência de destilação, perdas na vinhaça e flegmaça em 45 dias (Próprio Autor, 2019).

simples, possibilitam estudar a fundo as etapas do processo e encontrar a causa raiz.

Primeiramente, realizou-se um levantamento das principais causas da perda de eficiência na destilaria por meio de acompanhamento do processo, boletins diários, comunicação interna, questionamento aos operadores e aos engenheiros responsáveis.

A partir do levantamento realizado, utilizou-se o **Diagrama de Pareto** para estabelecer uma ordenação da maior para a menor nas causas do problema.

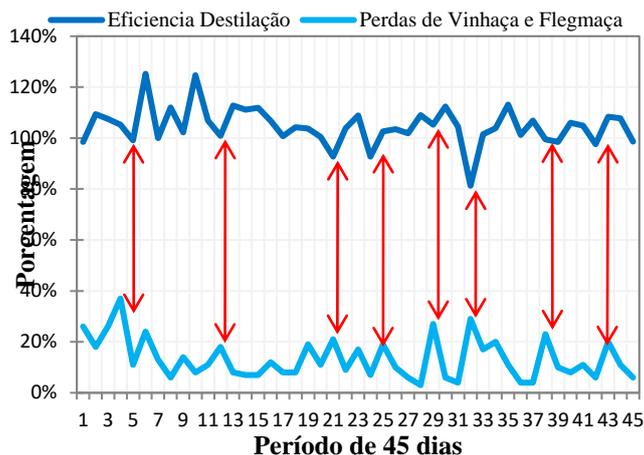
Na sequência, sabendo qual a principal causa do problema, foi possível encontrar as raízes por meio do Diagrama de Ishikawa.

Essas ferramentas proporcionam organizar o raciocínio para as discussões de um problema prioritário, especialmente na produção industrial. neste caso, a oscilação do vapor, que é a principal causa perda de eficiência na destilaria. Assim, foi possível descobrir os fatores que resultaram nessa situação indesejada na organização.

RESULTADOS

Foi analisado o período de 01/08 a 16/09, resultando em 45 dias de normal funcionamento. Para verificar a perda de eficiência na destilaria, é significativa a observação de perdas na vinhaça e flegmaça, que são parâmetros importantes de verificação da eficiência. Essa etapa tem como objetivo comprovar que o vapor vegetal realmente interfere na eficiência da destilaria.

Foi realizado um levantamento detalhado de dados em relação a perdas de vinhaça e flegmaça e eficiência da destilação, nos 45 dias escolhidos, como mostra o Gráfico I. Em seguida, foram levantados os fatores que ocasionam essas perdas.



Os fatores que podem causar perdas da eficiência de produção e aumento nas perdas de vinhaça e flegmassa são os seguintes: oscilação ou queda brusca do vapor vegetal, °GL alto do vinho (acima de 13%), sobrecarga nas colunas, contrapressão da coluna B para a coluna A, falha de instrumentação, falha operacional, entre outras falhas que ocorrem esporadicamente, como incrustação pelo arraste de fermento, desregulagem dos condensadores, entre

outros. Dentre esses problemas, que podem ocasionar as perdas, foram observados, por meio de pesquisa com os operadores, o acompanhamento do processo, conversa com os engenheiros responsáveis e análise aos informativos dessa grande empresa do setor sucroalcooleiro. Os problemas encontrados e sua ocorrência observada em um período de 40 dias foram as seguintes, apresentadas na Tabela I.

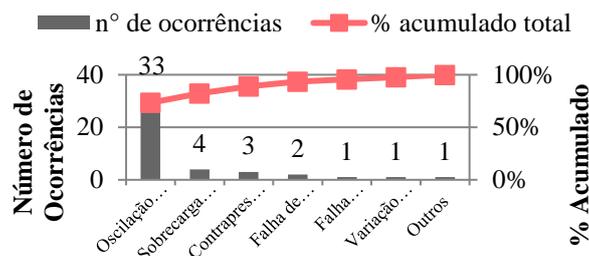
Problemas	Nº Ocorrências	% Ocorrências	% Acumulado
Oscilação do Vapor Vegetal	33	73%	73%
Sobrecarga nas Colunas	4	9%	82%
Contrapressão na Coluna B	3	7%	89%
Falha de Instrumentação	2	4%	93%
Falhas Operacionais	1	2%	96%
Variação no °GL do Vinho	1	2%	98%
Outros	1	2%	100%

Tabela I: Ocorrência dos problemas encontrados, para a análise de Pareto (Próprio Autor, 2019).

A partir dos dados coletados apresentados na Tabela 1, foram realizados os cálculos em porcentagens de ocorrências e porcentagem acumulada para a elaboração do Diagrama de Pareto, de forma a encontrar o problema de ocorrência, e assim, poder investigar melhor suas possíveis causas. O Gráfico 2, plotado em forma de Diagrama de Pareto, apresenta de maneira

Decrescente, da esquerda para a direita. as principais causas de perda de eficiência na destilação. Nota-se que a oscilação do vapor vegetal é a principal causa.

Gráfico II: Motivos de Perda de Eficiência na Destilação (Próprio Autor, 2019).



A partir disso, os piores dias foram verificados como mostra a Tabela 2, e também os dados sobre o vapor vegetal e de escape nos respectivos dias, em que se nota o quanto a queda do vapor vegetal influencia negativamente na eficiência da destilação e nas perdas de vinhaça e flegmaça. O

mínimo de vapor vegetal necessário para a destilaria é de 0,7 kgf/cm² e o máximo de 1,0 kgf/cm², sendo 0,85 kgf/cm² o ideal para o processo. Já para o vapor de escape, 1,2 kgf/cm² e o máximo de 1,6 kgf/cm², sendo 1,5 kgf/cm² o ideal para o processo.

Tabela II: A influência negativa da queda do vapor vegetal na eficiência de destilação e aumento de perdas (Próprio Autor, 2019)

Dias abaixo com eficiência abaixo de 99,95						
Eficiência Destilaria	Perdas Vinhaça	Perdas Flegmaça	Vapor Vegetal		Vapor de Escape	
			Min	Max	Min	Max
98,5	0,24	0,02	0,51	0,7	1,3	1,9
99,09	0,09	0,02	0,6	0,7	1,2	1,4
92,75	0,17	0,04	0,4	0,68	1,2	1,5
92,76	0,06	0,01	0,4	0,7	1	1,6
81,28	0,24	0,05	0,59	0,89	1,1	1,5
99,43	0,18	0,05	0,5	0,76	1,2	1,5
98,52	0,09	0,01	0,56	0,74	1,5	1,6
97,58	0,04	0,02	0,4	0,7	1,2	1,5

Em seguida, os dias de maior eficiência foram verificados como mostra a Tabela III, cujo vapor vegetal dentro dos parâmetros necessários

influencia positivamente na eficiência da destilação e queda de perdas na vinhaça e flegmaça.

Tabela III: A influência positiva da estabilidade do vapor vegetal na eficiência de destilação e queda de perdas (Próprio Autor, 2019).

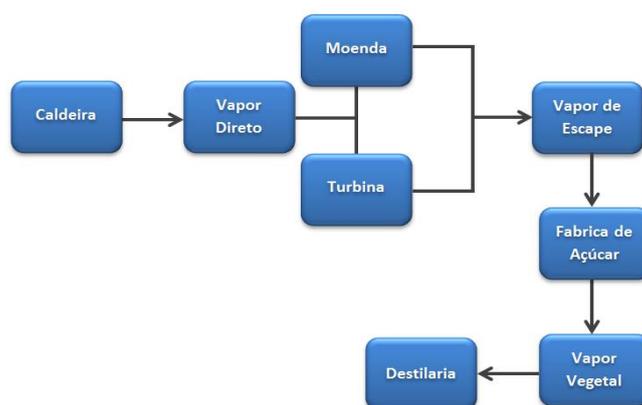
Melhores dias em relação à Eficiência						
Eficiência Destilaria	Perdas Vinhaça	Perdas Flegmaça	Vapor Vegetal		Vapor de Escape	
			Min	Max	Min	Max
125,24	0,17	0,07	0,7	0,9	1	1,7
112,07	0,03	0,03	0,7	0,8	1,5	1,6
124,7	0,03	0,05	0,75	0,88	1,5	1,6
112,8	0,05	0,03	0,68	0,78	1,5	1,6
111,14	0,04	0,03	0,7	0,8	1,4	1,5

112,43	0,02	0,04	0,7	0,8	1,3	1,7
113,2	0,03	0,08	0,75	0,91	1,4	1,6

Sabendo que a principal causa de perda de eficiência são as oscilações do vapor vegetal, outra ferramenta de qualidade é uma fiel aliada para a identificação das causas desse problema, o

Diagrama de Ishikawa que auxilia na elaboração de novas, desde as etapas que antecedem a geração do vapor vegetal, como apresentado da Figura 2.

Figura 2: Fluxograma do Processo de geração e consumo de vapor (Próprio Autor, 2019).



Dessa forma, outras áreas como caldeira, moenda e fábrica de açúcar foram analisadas. As caldeiras geram o vapor de direto (ou vivo), enviado para a moenda e turbina onde é gerado o vapor de escape consumido na fábrica de açúcar por meio dos pré-evaporadores, que, ao realizarem a pré- evaporação do caldo tratado, gerando o vapor vegetal, é consumido nos evaporados e em outros equipamentos da fábrica. É também enviado para a

destilaria, e tudo o que foi encontrado como fator que pode interferir no vapor vegetal, nas áreas acima, estão presentes no Diagrama de Ishikawa, como mostra na Figura 3.

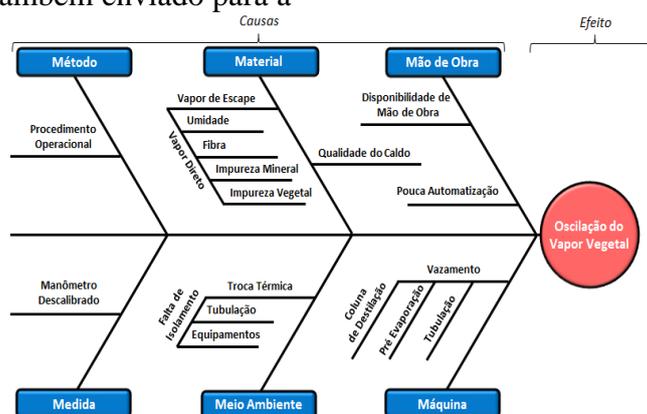


Figura 3: Diagrama de Ishikawa para a Análise dos Fatores que Influenciam na Oscilação do Vapor Vegetal na Destilaria (Próprio Autor, 2019)

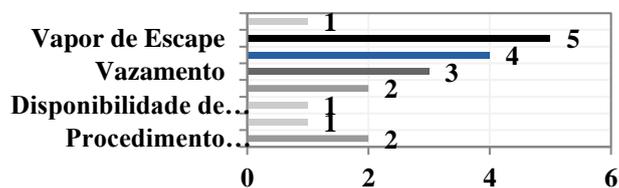
Para análise dos 6M apontados no Diagrama de Ishikawa, buscou-se entender cada item presente,

por meio do Gráfico III, para definir qual a intensidade que cada um deles implica no efeito,

oscilação de vapor vegetal na destilaria, atribuindo valores de 1 a 5, onde 1 significa que tem pouca

influência sobre o problema e 5 em que há muita influência sobre o problema.

Gráfico III: Intensidade de cada Causa sobre o Problema da Oscilação de Vapor (Próprio Autor, 2019).



Nota-se que dos pontos levantados, os que mais podem interferir no vapor vegetal é o vapor de escape, que pode oscilar em consequência do vapor direto produzido pelas caldeiras, que recebem o bagaço de cana de açúcar com maior ou menor quantidade de fibra, impureza mineral, impureza vegetal e umidade. Esses fatores influenciam na produção do vapor direto e, conseqüentemente, no vapor de escape e vegetal. Outro ponto que apresenta grande influência é a troca térmica, causada pela falta de isolamento nas tubulações que carregam o vapor vegetal da indústria até a destilaria.

DISCUSSÃO

O fator de maior impacto na perda de eficiência da destilaria é o vapor vegetal proveniente da pré-*evaporação* do caldo. Esse vapor é fornecido a toda destilaria, porém, as oscilações que ocorrem acarretam esse problema.

Para encontrar o porquê ocorre, investigou-se desde o princípio da geração do vapor, onde tudo se inicia com o bagaço que sai das moendas, transportado até as caldeiras, através de esteiras que alimentam os dosadores de bagaço. O vapor direto é gerado pelas caldeiras, produzido a alta pressão, direcionada à moenda e turbina, que geram o vapor de escape, que possui uma pressão média de 1,5 kgf/cm².

O caldo primário é pré-*evaporado* na fábrica de açúcar, e o vapor utilizado na pré-*evaporação* é o vapor de escape. A água evaporada é extraída em forma de vapor em torno de 0,8 kgf/cm². Dessa forma, esse vapor vegetal, além de ser utilizado nos evaporadores, nos cozedores a vácuo e nos aquecedores de caldo, é também destinado à destilaria.

Neste trajeto, o vapor é carregado por tubulações que, quando apresentam mau isolamento ou a sua falta, causam uma certa redução. Além disso, existem outros fatores também estudados que podem influenciar a oscilação do vapor vegetal, devido às muitas etapas envolvidas para a sua geração. Os fatores apontados e investigados foram o procedimento operacional, manômetro descalibrado, disponibilidade de mão de obra e pouca automatização, vazamento nas tubulações e equipamentos, vapor de escape (influenciado pelo vapor direto que pode oscilar pela umidade do bagaço, impureza vegetal, impureza mineral e quantidade de fibra do bagaço), tubulação que carrega o vapor e os equipamentos que perdem calor para o ambiente pela troca térmica devido à falta de isolamento.

CONCLUSÃO

No presente estudo de caso realizado nesta grande empresa do setor sucroalcooleiro, foram confeccionados diagramas de Pareto e Ishikawa para verificar qual a principal causa da perda de eficiência na destilaria e as suas raízes. Por meio do diagrama de Pareto, foi possível verificar que, na maioria das vezes, o que causa a perda de eficiência é a oscilação do vapor vegetal. O segundo diagrama, de Ishikawa, mostrou que muitas são as possíveis raízes DO problema.

Notou-se que as principais raízes da perda de eficiência na destilaria são a troca térmica nas tubulações, que perdem cerca de 0,1 kgf/cm² da fábrica de açúcar até a destilaria e também a oscilação do vapor de escape.

A metodologia empregada no levantamento de dados mostrou-se vantajosa, uma vez que foi possível coletar todas as informações necessárias e analisá-las visualmente, por métodos gráficos de

análise, eficientes para encontrar a principal causa de um problema, no caso, a perda de eficiência na destilaria. O desenvolvimento das atividades permitiu uma melhor compreensão do processo de destilação e também o que causa perdas de eficiência nesse processo.

REFERÊNCIAS

BESSA, L. C. B. A. **Integração Térmica de Colunas de Destilação Alcoólica Multicomponente**. 2012. 218 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2012.

PRUDENCIATO, R. **Energy consumption in the distillation process of ethanol and analysis of their impact variables: a case study in plant**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de São Paulo.

NEUMANN, B.; CALMON, A. P. S.; AGUIAR, M. M.. Aplicação do ISA e Diagrama de Pareto como ferramentas de gestão do loteamento Lagoa Carapebus. **Latin American Journal Of Business Management**, Taubaté, Sp, Brasil, v. 9, n. 2, p.44-65, jun. 2013.

ARAÚJO, L. O. C. de et al. **O Microplanejamento do Serviço de Concretagem**: Análise e Aplicabilidade das Ferramentas da Qualidade. São Paulo-SP, 2001. 14p.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R.. **Administração da Produção**: Operações Industriais e de Serviços. Curitiba: Unicenp, 2007. 748 p.

ALENCAR, J. F. de. **Utilização do Ciclo PDCA para Análise de Não Conformidades em um Processo Logístico**. 2008. 60 f., Juiz de Fora - MG.

FORNARI JUNIOR, C. C. M.. Aplicação da Ferramenta da Qualidade (Diagrama de Ishikawa) e do PDCA no Desenvolvimento de Pesquisa para a reutilização dos Resíduos Sólidos de Coco Verde. **Ingepro – Inovação, Gestão e Produção**, v. 2, n. 9, p.1-9, set. 2010.

RODRIGUES, D.; ORTIZ, L.. **Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana de açúcar no Brasil**. Brasil, p.1-37, out. 2006. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/cana4_000g7qv63sq02wx5ok0wtedt3xughe7o.pdf>. Acesso em: 13 set. 2019.

VOCABULÁRIO

Flegmaça: Resíduo aquoso da retificação do flegma;

Flegma: Mistura hidroalcoólica impura, principal produto de destilação na coluna A;

Retificação: Operação de purificação e concentração do flegma;

Vinhaça: Resíduo aquoso da destilação do vinho;

Vinho: Produto de fermentação do mosto ou mosto fermentado.