



José Avelino Placca ^(a), Fernando Ribeiro Pavanin ^(b) Gabrielli Duarte Silva ^(c)

(a) placca@gmail.com

(b) ferpavanin@hotmail.com

(c) ggabiduartes@hotmail.com

CONSTRUÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SOFTWARE COM FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS VOLTADO PARA O GERENCIAMENTO DA QUALIDADE DE PRODUTOS, PROCESSOS E SERVIÇOS

RESUMO

O objetivo deste trabalho é a construção e implementação de um software de uso trivial que contemple as principais ferramentas estatísticas para o gerenciamento e controle dos processos produtivos e serviços. O método de abordagem utilizado nesse trabalho trata do método hipotético dedutivo, visto que o problema apresentado foi a dificuldade na obtenção de um software de uso trivial para o gerenciamento estatístico de processos. As principais características que contemplam o software, como o uso trivial e as principais ferramentas estatísticas de controle, sendo estas Histograma, Pareto, Carta de Controle (CEP), Gráfico de Correlação e BoxPlot foram selecionadas pela técnica Delphi e correspondem a 85% das indicações levantadas. O software foi desenvolvido na linguagem R, compilado na versão 3.2.3 e com a utilização da interface de linguagem Java. A validação do software obteve a comprovação da veracidade de seus resultados obtidos através da comparação dos resultados preliminares do software desenvolvido com os resultados obtidos por meio da utilização da ferramenta Excel 2013 da Microsoft, obtendo como erro relativo calculado de zero por cento. Através do software desenvolvido, obtêm-se um ganho de aproximadamente 26 minutos para a execução das ferramentas estatísticas comparadas com a ferramenta Excel, que correspondem a um ganho de tempo de 88%. A implementação do software foi realizada nos principais indicadores do processo de fermentação de uma usina de açúcar e álcool, tais como temperatura, viabilidade, floculação, infecção, vazão e Brix do mosto e a produção de etanol. Na etapa final do trabalho, foram evidenciadas melhorias no gerenciamento e controle do processo de fermentação, que resultou em um ganho de 5% na produção de etanol e de 41% na produção de levedura seca e, além disso, levou a uma economia de 14% no consumo de insumos, resultando em um aumento de lucratividade total de R\$ 3.547.444,62 (três milhões, quinhentos e quarenta e sete mil, quatrocentos e quarenta e quatro reais e sessenta e dois centavos), comprovando, deste modo, a importância de um software estatístico de uso trivial no gerenciamento e controle de processos e serviços.

Palavras-chave: Software; Ferramentas Estatísticas; Controle de Processos; Gestão da Qualidade; Produção de Etanol.

CONSTRUCTION AND IMPLEMENTATION OF A SOFTWARE WITH STATISTICAL TOOLS BACK TO QUALITY MANAGEMENT OF PRODUCTS, PROCESSES AND SERVICES

ABSTRACT

The objectives of this study are the construction and implementation of a trivial use software that contemplates the main statistical tools for the management and control of productive processes and services. The approach used in this study is the hypothetical deductive method, since the problem presented was the difficulty in obtaining a software of trivial use for statistical management of processes. The main features of the software, such as its trivial use and the main statistical controlling tools such as Histogram, Pareto, Chart of Control (CEP), Matrix of Correlation and Box Plot were selected by the Delphi technique and correspond to 85% of indications raised. The software was developed in the R

language, compiled in version 3.2.3 and using the Java language interface. The validation of the software obtained the proof of veracity of its results, obtained by comparing the preliminary results of the software developed with the results obtained by using the Microsoft Excel 2013 tool, obtaining zero percent as calculated relative error. Through the developed software, a gain of approximately 26 minutes was obtained for the execution of the statistical tools compared to the Excel tool, corresponding to a time gain of 88%. The implementation of the software was performed in the main indicators of the fermentation process of sugar and alcohol plant, such as temperature, viability, flocculation, infection, flow rate and Brix of the must and ethanol production. In this final stage of the study, improvements were observed in the management and control of the fermentation process, which resulted in a 5% increase in ethanol production and 41% in dry yeast production and led to an economy of 14% in consumption of inputs, resulting in a total profitability increase of R\$ 3,547,444.62 (three million, five hundred and forty-seven thousand, four hundred and forty-four Brazilian reais and sixty-two cents), thus proving the importance of a statistical software of trivial use in the management and control of processes and services.

Keywords: Software; Statistical Tools; Process control; Quality management; Production of Ethanol

1. Introdução

Este trabalho foi realizado com o intuito de desenvolver um software que contemplasse as principais ferramentas estatísticas para o gerenciamento e controle dos processos produtivos e serviços.

A estatística apresenta-se como peça fundamental para o controle de processos, uma vez que permite o monitoramento de indicadores, análise e avaliação de fatores que promovem variabilidade nos processos de uma organização e oferecem base para tomada de decisão e ações de melhorias. Além disso, a inserção das ferramentas estatísticas nas empresas e organizações tornou-se um forte diferencial de mercado, garantindo a competitividade e o alto desempenho.

Algumas ferramentas possibilitam o estudo das características de posição e dispersão das variáveis de um processo, como Histograma e BoxPlot. Além disso, ferramentas como a Matriz de Correlação são usadas para estudar o grau de sincronia entre duas variáveis atuantes em um mesmo processo de interesse. Ainda, para o estudo e verificação da existência de causas especiais de variabilidade, são altamente empregadas as Cartas de Controle, sendo estas uma ferramenta de grande utilidade e amplamente utilizada pelas grandes organizações. Outras ferramentas são usadas como meio de determinação e exposição de uma ordem de priorização das ações a serem tomadas e desencadeadas, como o Gráfico de Pareto. Todas essas ferramentas são abordadas neste trabalho e contempladas no software que foi desenvolvido.

Devido à dificuldade encontrada pelas pessoas para a manipulação de softwares já existentes no mercado, que normalmente

necessitam de conhecimentos específicos de programação para sua utilização, como também o fato de não apresentarem fácil acessibilidade, visto que são softwares de alto custo monetário, foi desenvolvido um software de uso trivial, com objetividade na apresentação dos resultados e de maior acessibilidade as organizações.

A utilização do software desenvolvido que engloba as principais ferramentas estatísticas permite o controle da qualidade de produtos e processos, auxilia na percepção de pontos críticos, na detecção de oportunidades de melhoria, bem como na redução das perdas e os retrabalhos para, deste modo, garantir e superar as expectativas dos clientes.

Este trabalho está dividido em cinco partes, sendo a primeira, evidenciada no tópico 2 (Fundamentação Teórica), um estudo relacionado ao conteúdo teórico que envolve os principais conceitos das ferramentas estatísticas e sua importância no gerenciamento e controle dos processos produtivos e serviços, como também a história, evolução da qualidade e os principais autores que contribuíram para a fundamentação da gestão da qualidade.

O método de abordagem, apresentado no tópico 3 (Metodologia), trata do método hipotético dedutivo, visto que o problema apresentado neste trabalho é a dificuldade na obtenção de um software de uso trivial para o gerenciamento estatístico da qualidade de processos, produtos e serviços. A hipótese desenvolvida foi a criação de um software que contemple as mais eficazes ferramentas estatística, selecionadas através da técnica Delphi, que correspondem a segunda parte deste trabalho.

A terceira parte, apresentada no item 4.1 (Construção do Software) contempla a construção do software, que engloba a

determinação das ferramentas estatísticas através da técnica Delphi apresentada na Metodologia, a linguagem de programação utilizada, bem como a interface do funcionamento do software.

A quarta parte, apresentada no item 4.2 (Validação do Software), é a validação do software através da comparação dos seus resultados preliminares e os resultados obtidos por meio da utilização da ferramenta Excel 2013 da Microsoft, por se tratar de uma plataforma largamente utilizada e de eficácia reconhecida no mercado.

A quinta e última parte, evidenciada no item 4.3 (Implementação do Software) refere-se à implantação do software desenvolvido nos principais indicadores do processo de fermentação de uma usina de açúcar e álcool, tais como temperatura, viabilidade, infecção, vazão e Brix do mosto e a produção de etanol. Nesta etapa final do trabalho há a exposição e avaliação dos resultados, as possíveis melhorias e dificuldades encontradas pela empresa através da utilização do programa computacional.

2. Fundamentação Teórica

2.1 História e Evolução da Qualidade

A partir da Revolução Industrial no final do século XIX e início do XX, observou-se um grande aumento no desenvolvimento de ferramentas de trabalhos e sistemas de unidades de medidas. Ao longo do tempo os conceitos de qualidade mudaram consideravelmente. A qualidade passou a ser considerada um dos elementos mais fundamentais para uma boa gestão das organizações, se caracterizando em um fator crítico para a sobrevivência de organizações produtivas. Essas mudanças contribuíram diretamente para evolução da qualidade. Uma das classificações temporais mais adotadas é a proposta por David Garvin, que classifica a evolução da qualidade em quatro eras, quais sejam: Inspeção; Controle Estatístico; Garantia da Qualidade e Gestão da Qualidade” (PALADINI, 2012, p.7). Em detalhes: **inspeção**, qualidade com foco no produto; **controle estatístico da qualidade**, com foco no processo; **garantia da qualidade**, focando o sistema; e **gestão da qualidade total** (TQM – *Total Quality Management*), levando o negócio para centro das atividades.

Em 1970 inicia-se a chamada Quarta Era da Qualidade com a Gestão da Qualidade Total, com o foco na gestão dos processos como um todo, em que se agrega valor aos produtos e

satisfaz as expectativas dos clientes, sendo assim um forte diferencial da concorrência. Em 1980 surgiu a norma ISO 9001, que busca uma padronização nos sistemas de qualidade, publicando diretrizes generalistas baseadas exclusivamente no já conhecido ciclo PDCA (*plan-do-check-action*) e na melhoria contínua, sendo também um símbolo de reconhecimento da qualidade.

“A Gestão da Qualidade Total (GQT) é uma opção para a reorientação gerencial das organizações. Tem como pontos básicos: foco no cliente; trabalho em equipe permeando toda a organização; decisões baseadas em fatos e dados; e a busca constante da solução de problemas e da diminuição de erros” (LONGO, 1995, p.10).

2.2. Ferramentas Estatísticas e sua importância

Diante da atual situação da economia brasileira e mundial, percebe-se um grande aumento da preocupação das empresas com a qualidade de seus produtos. Esta preocupação vai desde os processos internos para produção de produto como os indicadores de satisfação de seus clientes.

A concorrência no fornecimento de serviços ou produtos está muito acirrada. Isso leva os empresários a estudar maneiras para gerir melhor seus funcionários, matéria prima, custos, mão de obra entre outros.

Diversas ferramentas consagradas veem sendo incorporadas as empresas para acompanhar e controlar esses indicadores.

A Gestão da Qualidade vem se tornando essencial para um melhor gerenciamento dos processos de uma empresa ou indústria. Observa-se um crescimento exponencial das empresas que adotam sistemas de Gestão da Qualidade para controlar os processos.

“O monitoramento efetivo das características da qualidade de um processo de produção depende frequentemente de ferramentas estatísticas para a detecção, identificação e análise das causas significantes responsáveis por variações que afetam o comportamento do processo de maneira imprevisível” (ALVES, 2003, p. 134).

Para o acompanhamento da Qualidade é de grande valor dimensionar muito bem os indicadores e estudá-los estatisticamente é essencial para seu entendimento.

As ferramentas estatísticas são mecanismos simples para o acompanhamento e monitoramento de processos e produtos. Permitem obter o controle total sobre os processos e identificar possíveis desvios que possam existir. Elas viabilizam a melhor

qualidade de seus produtos, a redução de perdas e retrabalhos, o aumento da satisfação dos clientes, como também a identificação de causas de não conformidades e as prioridades voltadas para a melhoria do processo produtivo.

Segundo Paladini (2012, p. 354), "todas as ferramentas apresentam, em maior ou menor grau, as características apresentadas a seguir:

- Facilidade de uso;
- Lógica de Operação;
- Sequência coerente das ações;
- Alcance visual;
- Etapas de Implantação;
- Delimitação;
- Implantação no atendimento ao cliente final;
- Foco na solução".

3. Metodologia

A linha de pesquisa adotada neste trabalho é a exploratória, pois o objetivo é levantar as ferramentas estatísticas mais importantes para as empresas visando transformar dados coletados em informações para a tomada de decisão e obter assim um maior controle de seus produtos serviços e processos.

"A pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado. Na maioria dos casos, essas pesquisas envolvem: (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; e (c) análise de exemplos que "estimulem a compreensão"" (SELLTIZ, 1967. p. 63).

O método de abordagem escolhido para atingir os objetivos deste trabalho é o hipotético-dedutivo.

"No método hipotético-dedutivo, a investigação científica visa construir e testar uma possível resposta ou solução para um problema" (PINHEIRO, 2016).

Tendo em vista que o problema apresentado neste trabalho é a dificuldade em obtenção de um software de uso trivial para o gerenciamento estatístico da qualidade de produtos, processos e serviços com acessibilidade a todos, a hipótese desenvolvida foi a criação de um software que contemplem as mais eficazes ferramentas estatística.

Para selecionar as mais importantes

ferramentas estatísticas que foram contempladas no software, como também suas principais características, visando diferencia-lo dos demais softwares disponíveis no mercado, foi utilizado a técnica Delphi.

Em linhas gerais, o Delphi é uma técnica para a busca de um consenso de opiniões de um grupo anônimo de especialistas a respeito de eventos futuros de um determinado setor, listados em um questionário interativo que circula pelo grupo. É um método bastante empregado para o planejamento em situações de carência de dados históricos, ou quando se pretende estimular e apontar a criação de novas ideias, favorecendo, através de uma análise qualitativa do mercado, a projeção de tendências futuras em face de descontinuidades ou rupturas tecnológicas e socioeconômicas.

Neste trabalho, o formulário foi enviado a nove especialistas no sistema de gestão, dentro dos quais estavam consultores em sistemas de gestão da qualidade e gestores de empresas responsáveis pelos sistemas de gestão de onde trabalhavam. Estes responderam as questões de forma dissertativa. As perguntas que compunham o questionário foram elaboradas de forma aberta, possibilitando ao entrevistado expor sua opinião e experiência. As questões foram as seguintes:

- Cite pelos menos três ferramentas estatísticas que você considere como mais importantes para o controle de produtos e processos.
- A organização a qual trabalha utiliza algum software estatístico? Qual?
- Qual a principal dificuldade para o uso do software e treinamento dos colaboradores?
- Quais as principais características do software que você considera essenciais considerando a resposta dada no item C?

Para testar a hipótese proposta nesse trabalho inicialmente foi feita a validação do software através da comparação de resultados com a ferramenta Excel 2013 da Microsoft, por se tratar de uma plataforma largamente utilizada e testada no mercado.

Após a validação dos resultados foi realizada a implementação do software nos principais indicadores do processo de fermentação da usina de açúcar e álcool, tais como temperatura, viabilidade, floculação, Brix do mosto, infecção do vinho, vazão do mosto e produção de etanol. Esta implementação visou a comprovação da hipótese proposta, que através da construção de um software de uso trivial é possível obter o maior controle dos processos

organizacionais, além de contribuir na tomada de decisões e no desencadeamento de planos de ação.

4. Estudo de Caso

4.1. Construção do Software

4.1.1. Levantamento das Ferramentas Estatísticas e Qualificações do Software

Através da técnica Delphi apresentada na metodologia e do estudo realizado na fundamentação teórica deste trabalho, foram levantadas as principais ferramentas estatísticas para o monitoramento e controle de processos, para constituir o software desenvolvido.

De acordo com este levantamento 88% das

ferramentas estatísticas indicadas foram: Controle Estatístico de Processo (CEP), Histograma, BoxPlot, Gráfico de Pareto e Matriz de Correlação, como demonstrado na tabela 1 e no Gráfico de Pareto apresentado na figura 1.

O gráfico de Pareto é uma importante ferramenta estatística para determinar o grau de priorização de um dado assunto ou problema. Dessa forma, foi determinado um o grau de priorização de 88%, dada através da frequência acumulada. Em nosso caso, isso englobou as cinco principais ferramentas estatísticas que contemplam o software proposto neste trabalho.

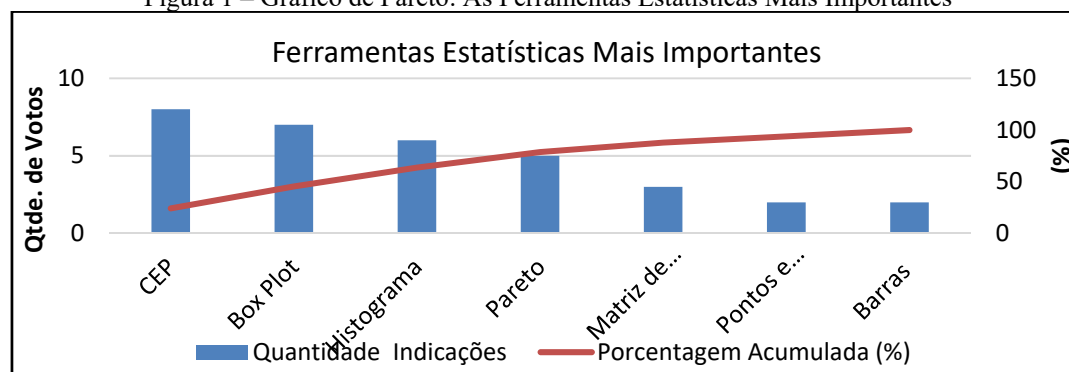
“O gráfico de Pareto trata de uma técnica relativamente direta, que envolve classificar os itens de informação nos tipos de problemas ou causas de problemas por ordem de importância” (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002).

Tabela 1 - Ferramentas Estatísticas mais importantes

Ferramentas Estatísticas	Quantidade de Indicações	Porcentagem (%)	Porcentagem Acumulada (%)
CEP	8	24	24
BoxPlot	7	21	45
Histograma	6	18	64
Pareto	5	15	79
Matriz de Correlação	3	9	88
Pontos e Linhas	2	6	94
Barras	2	6	100

Fonte: os autores

Figura 1 – Gráfico de Pareto: As Ferramentas Estatísticas Mais Importantes



Fonte: Os Autores

A técnica Delphi também foi importante para evidenciar as principais características e qualificações que devem contemplar o software estatístico, bem como as principais dificuldades existentes na sua utilização e aquisição. O resultado desta técnica aplicada está apresentada na tabela 2 e nos gráficos de Pareto da figura 2.

A tabela 2 indica que cerca de 67% das organizações avaliadas não utilizam software estatístico para o controle de processos e isto ocorre devido principalmente por possuírem dificuldade na utilização de software complexos. Desse modo, acabam utilizando a ferramenta Excel.

Tabela 2 - Qualificações e Defeitos de Software Estatísticos

Resultados da Técnica Delphi - Qualificações e Defeitos de Software Estatísticos

Principais Dificuldades da Utilização de Software Estatísticos

Dificuldades	Quantidade Votos	Porcentagem (%)	Porcentagem Acumulada (%)
Manipulação e Uso do Software	9	43	43
Dificuldade de Interpretação dos Dados e Resultados	8	38	81
Alto Custo Monetário de Aquisição	3	14	95
Necessita de Obter um Conhecimento de Programação	1	5	100

Características Essenciais de Software Estatísticos

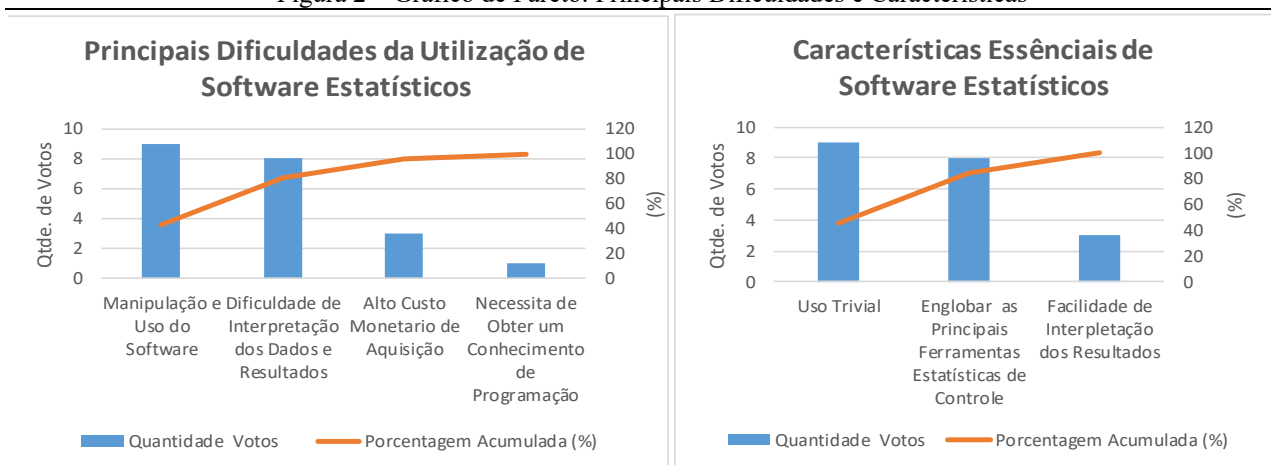
Características	Quantidade Votos	Porcentagem (%)	Porcentagem Acumulada (%)
Uso Trivial	9	45	45
Englobar as Principais Ferramentas Estatísticas de Controle	8	40	85
Facilidade de Interpretação dos Resultados	3	15	100

Organizações que já Utilizam Software Estatístico

Respostas	Quantidade Votos	Porcentagem (%)	Porcentagem Acumulada
NÃO	6	67	67
SIM	3	33	100

Fonte: os autores

Figura 2 – Gráfico de Pareto: Principais Dificuldades e Características



Fonte: Os Autores

O gráfico de Pareto apresentado na figura 2 demonstra que 81% das dificuldades existentes na utilização de softwares estatísticos encontram-se na manipulação e uso, como também na dificuldade de interpretação dos dados e resultados.

Demonstrou também as principais características e qualificações que devem constar em um software estatístico, que são o uso trivial e obtenção das principais ferramentas estatísticas de controle, que correspondem 85% das indicações levantadas.

Nos próximos tópicos serão apresentados a linguagem de programação e a interface que foi utilizada no desenvolvimento do software.

4.1.2. Linguagem de Programação

Foi definido a Linguagem R, compilado na versão 3.2.3, para ser o processador dos dados, pois essa linguagem é de conhecimento mundial e utilizada em diversas empresas e universidades, ou seja, trata-se de uma linguagem de programação amplamente testada e em constate

mudança para aperfeiçoamento das suas funcionalidades.

Um fator importante para utilização da linguagem R é a licença para uso livre da computação estatística e de gráficos. Outro fator não menos importante é a possibilidade de compilar e rodar em diversas plataformas, como UNIX, Windows e MacOs.

“O software estatístico R é um projeto livre e qualquer pessoa pode ter acesso gratuitamente. Este software pode ser obtido gratuitamente em www.r-project.org, onde é apresentado em versões de acordo com o sistema operacional Windows, UNIX ou Macintosh. Além disso, encontram-se nesse site mais informações sobre a utilização e uma central de correspondências, onde profissionais de vários países podem contribuir para a implementação de novos recursos” (PETERNELLI & MELLO, 2007, p.181).

4.1.3. Interface

A interface gráfica foi desenvolvida para receber os dados, analisa-los, alimentar o motor (software R) e colher os dados retornados pelas funções, devolvendo ao usuário de uma forma de

fácil entendimento, conforme o fluxo na figura 3.

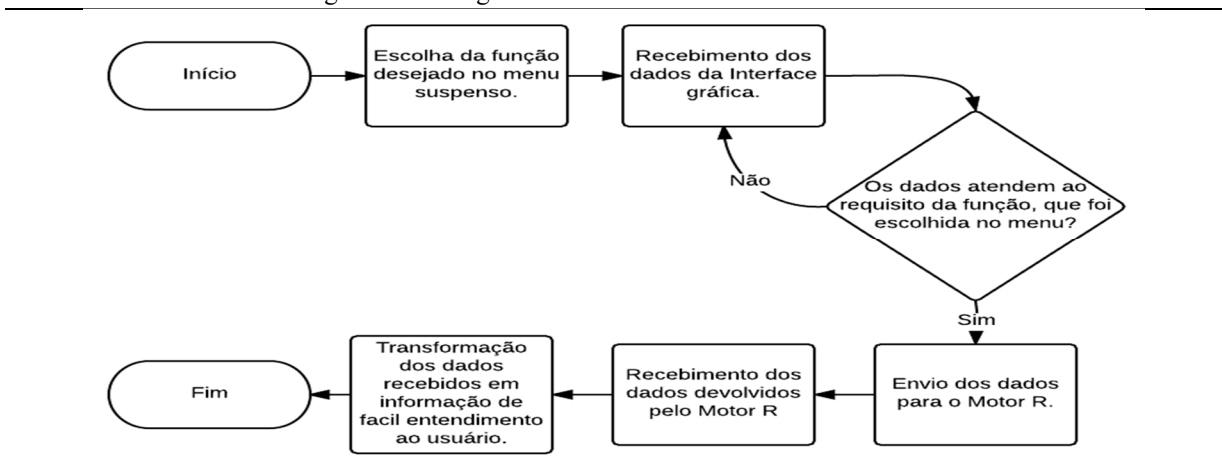
A interface foi desenvolvida em linguagem Java, no compilador da versão 1.8, que também é de uso livre. É uma interface gráfica em janelas, organizada em menus suspensos, que são agrupados por categorias para facilitar o uso no dia-a-dia, conforme apresentado na figura 4.

O Java teve sua liberação para o público em 1995 pela Sun Microsystems. A Sun baseou a nova linguagem nas duas linguagens de implementação mais amplamente utilizadas do mundo, C e C++.

Isso deu a Java uma enorme base de programadores altamente qualificados que estavam implementando a maioria dos novos sistemas operacionais, sistemas de comunicações, sistemas de banco de dados, aplicativos de computadores pessoal e software de sistemas do mundo” (DEITEL,2013).

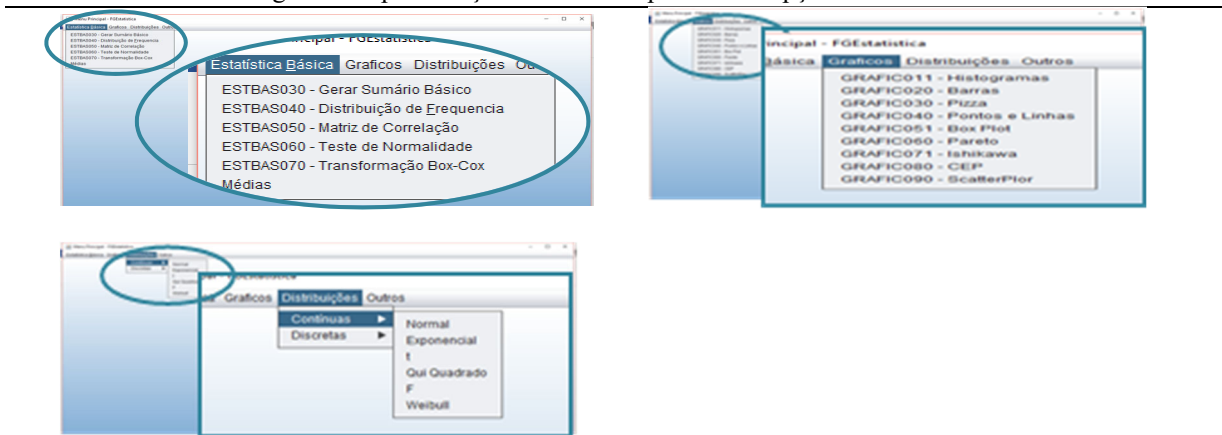
A interface desenvolvida não trabalharia em rede, caracterizando-se *standalone* (por si só), deste modo, desde o desenvolvimento, tratamento dos dados e seu uso cotidiano, foi utilizado em um microcomputador convencional sem necessidade de hardware específico.

Figura 3 - Fluxograma funcionamento da interface / motor



Fonte: os autores

Figura 4 - Apresentação do menu suspenso com opções de recursos.



Fonte: Os Autores

4.2. Validação do Software

A validação do software certifica que os requisitos preliminares tais como o uso trivial do software e a contemplação das principais ferramentas estatísticas foram desenvolvidas conforme o planejado e são executadas de forma correta, tornando o software apto para o objetivo inicialmente proposto.

Deste modo, a validação do software foi obtida através da comparação dos resultados obtidos através do software e os resultados providos pela ferramenta Excel 2013 da Microsoft.

“O objetivo da validação é assegurar que o software que está sendo desenvolvido é o software correto, ou seja, se os requisitos e o software dele derivado atendem ao uso específico proposto” (FALBO, 2005, p.22).

Neste sub-capítulo, a validação do software foi dividida em tópicos que contemplam as principais ferramentas estatísticas, tais como: Gráfico de Pareto, Carta de Controle, Histograma ou Distribuição de Frequência, Matriz de

Correlação e BoxPlot, como também a comparação da facilidade de execução e obtenção dos resultados por meio do Excel e do Software desenvolvido.

4.2.1. Gráfico de Pareto

O principal objetivo do gráfico de Pareto é classificar e expor em grau de prioridades os fatores ou características que normalmente são as causas ou tipos de problemas de um determinado processo.

Sendo assim, a validação desta ferramenta estatística foi realizada através da comparação das frequências relativas e acumuladas conforme apresentada na figura 5 e na tabela 3.

Conforme pode ser visualizado na figura 5, bem como na tabela 3, as frequências relativas de cada tipo de defeito e a curva de frequência acumulada obtidos através de ambos os softwares são exatamente as mesmas, ou seja, o erro relativo calculado entre os resultados obtidos através do software desenvolvido e o Excel, foi de zero por cento.

Tabela 3 – Validação do Gráfico de Pareto

Tipos de Defeitos	Qtde. de Peças	Ferramenta Excel		Software Desenvolvido		ERRO
		Frequência (%)	Frequência Acumulada (%)	Frequência (%)	Frequência Acumulada (%)	
Defeito B	56	58,95	58,95	58,95	58,95	0%
Defeito C	24	25,26	84,21	25,26	84,21	0%
Defeito A	12	12,63	96,84	12,63	96,84	0%
Defeito D	3	3,16	100,00	3,16	100	0%
Total	95	100,00	200,00	100,00	200,00	0%

Fonte: os autores

Figura 5 – Validação do Gráfico de Pareto

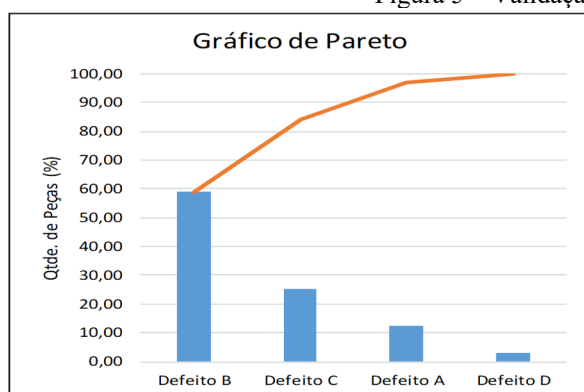


Figura I - Gráfico plotado pela ferramenta Excel

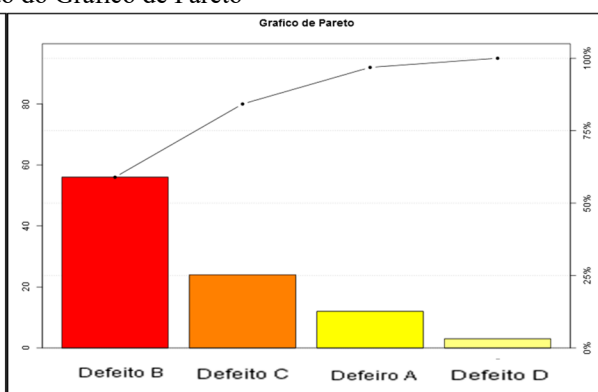


Figura II - Gráfico plotado pelo software desenvolvido

Fonte: Os Autores

4.2.2 Carta de Controle – CEP

A Carta de Controle é a ferramenta que permite acompanhar o comportamento de um processo ao longo do tempo, bem como

identificar causas comuns e especiais de variabilidade. Sendo assim, a validação desta ferramenta foi realizada através da comparação dos valores médios, dos limites de controle inferior e superior, e da distribuição da média de

cada amostra (cada ponto). Os resultados podem ser observados na figura 6 e tabela 4.

Os valores médios obtidos em ambos os casos foi de 10,511, o que corresponde a um erro relativo entre os dois software de zero por cento. Por outro lado, os limites de controles calculados tiveram um erro relativo máximo entre si de 0,3%. Essa diferença pode ser explicada pelo fato de que no Excel o cálculo dos limites de controle foi realizado considerando três desvios padrão

para mais e para menos a partir da linha central (valor médio). Já no Software desenvolvido, o cálculo dos limites de controle foi realizado considerando os fatores para cálculos de limites de controle, como já explicado no item 2.3.4 de fundamentação teórica e exposto no Anexo A deste trabalho.

Além disso, observa-se pela Figura 6 que o comportamento aleatório de cada ponto da amostra são correspondentes.

Tabela 4 – Validação da Carta de Controle

Ferramenta	Excel	Software Desenvolvido	ERRO
Calor Médio	10,511	10,511	0,0%
LSC	10,918	10,885	0,3%
LIC	10,104	10,138	0,3%

Fonte: Os Autores

Figura 6 – Validação da Carta de Controle - CEP

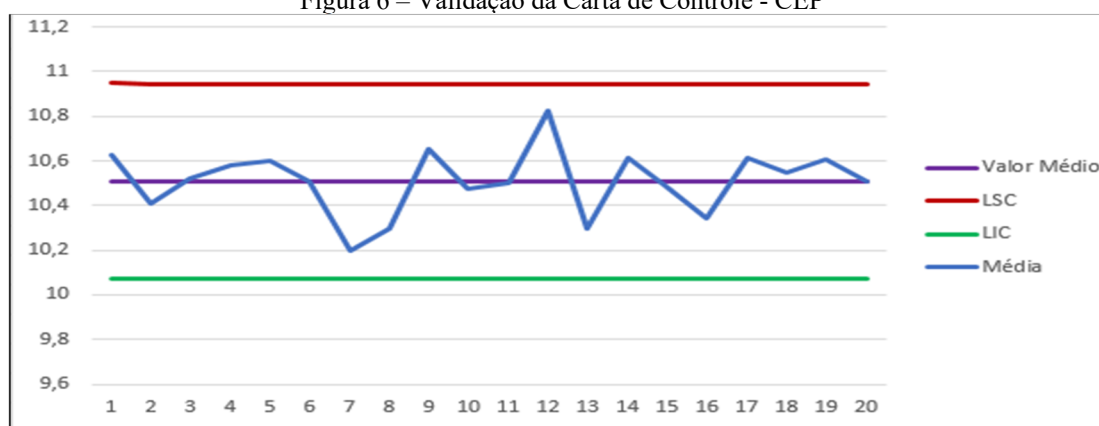


Figura III - Gráfico de Controle Plotado pelo Microsoft Excel

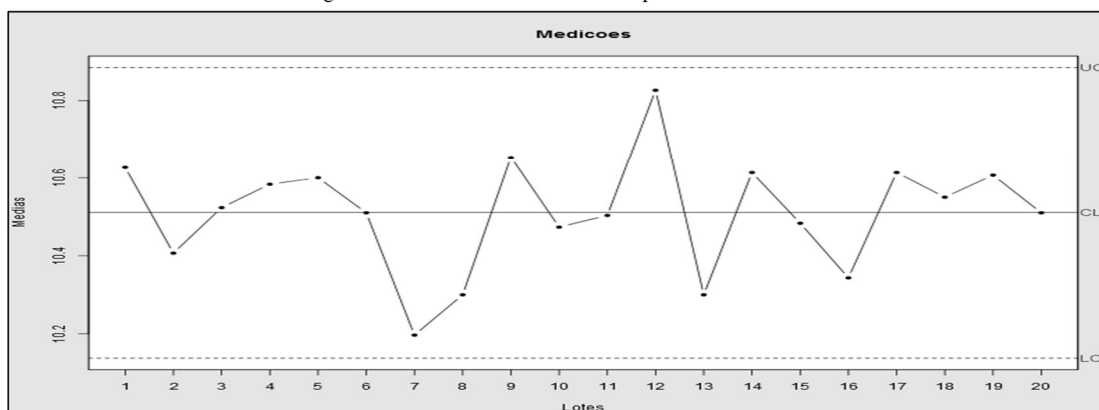


Figura IV - Gráfico plotado pelo software desenvolvido

Fonte: Os Autores

4.2.3. Histograma ou Distribuição de Frequência

O histograma e a tabela de distribuição de frequência permitem observar a distribuição dos dados por meio da concentração e dispersão dos mesmos. Além disso, é possível verificar se o processo estudado encontra-se sob controle estatístico, isto é, quando o ponto de maior concentração de dados é central em uma

distribuição simétrica de comportamento Normal ou Gaussiana (forma de sino).

Sendo assim, a validação desta ferramenta foi realizada através da comparação das frequências relativas e absolutas e dos limites de cada classe, bem como o comportamento geral dos dados considerados, e são apresentados na figura 7 e na tabela 5. Conforme pode ser observado na figura 7, bem como na tabela 5, as frequências relativas e absolutas e os limites de

cada classe, bem como o comportamento geral dos dados considerados obtidos através de ambos os softwares são exatamente os mesmos, ou seja,

o erro relativo calculado entre os resultados obtidos através do software desenvolvido e o Excel, foi de zero por cento.

Tabela 5 – Validação do Histograma

Intervalos	Ferramenta Excel		Software Desenvolvido		ERRO
	Frequência	Frequência Relativa	Frequência	Frequência Relativa	
18,074 á 18,792	6	0,12	6	0,12	0%
18,792 á 19,510	9	0,18	9	0,18	0%
19,510 á 20,228	16	0,32	16	0,32	0%
20,228 á 20,946	9	0,18	9	0,18	0%
20,946 á 21,664	8	0,16	8	0,16	0%
21,664 á 22,382	2	0,04	2	0,04	0%

Fonte: os autores

Figura 7 – Validação do Histograma

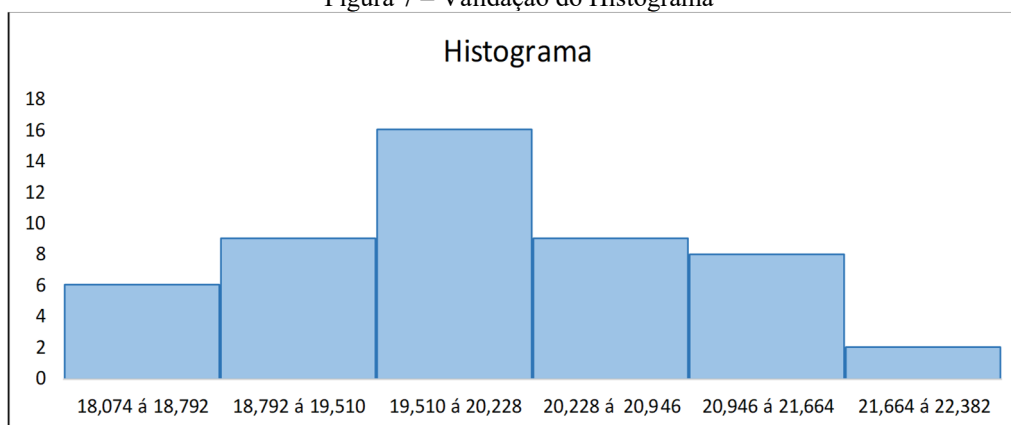


Figura V - Gráfico Plotado pelo Microsoft Excel

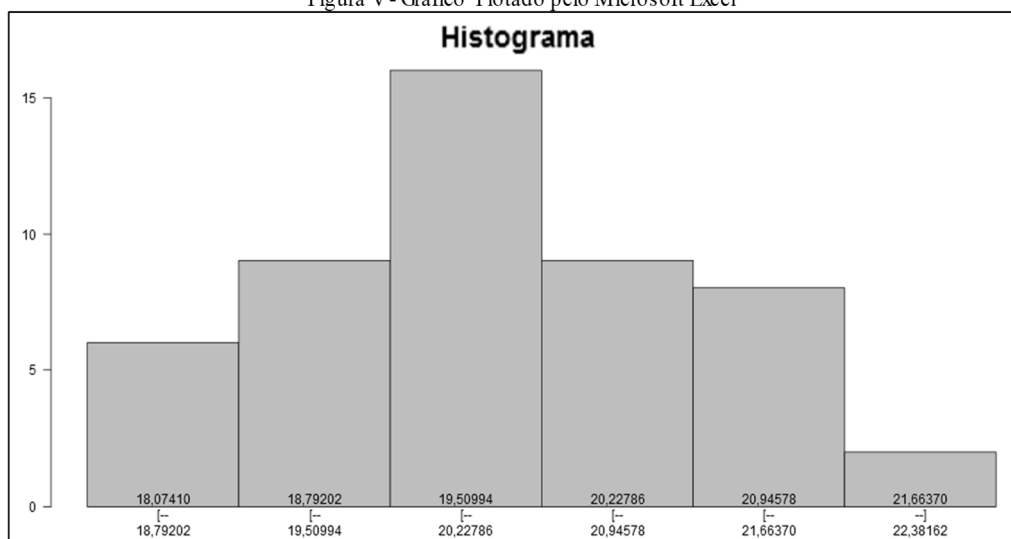


Figura VI - Gráfico plotado pelo software desenvolvido

Fonte: Os Autores

4.2.4. Matriz de Correlação

A melhor forma para saber se há correlação entre duas ou mais variáveis é através da matriz ou gráfico de correlação. Quanto mais próximo de

1 (um) ou -1 (menos um) o coeficiente de correlação estiver, maior será a correlação (sincronismo) dos dados analisados. A figura 8 e tabela 6 apresentam o cálculo para os dois softwares.

Tabela 6 – Validação da Matriz de Correlação

Ferramenta	Excel	Software Desenvolvido	ERRO
Coefficiente de Correlação	0,93	0,93	0%

Fonte: Os Autores

Figura 8 – Validação da Matriz de Correlação

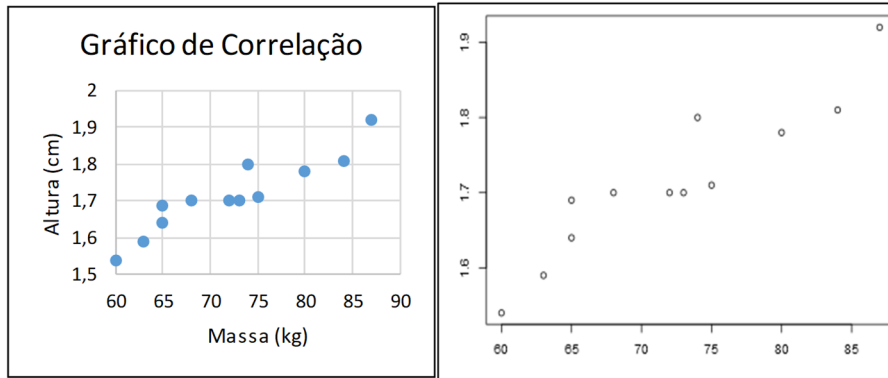


Figura VII - Microsoft Excel

Figura VIII - Software Desenvolvido

Fonte: os autores

Conforme demonstrado, o gráfico de correlação e o coeficiente de correlação obtidos através de ambos os softwares são exatamente os mesmos, ou seja, o erro relativo calculado entre os resultados obtidos através do software desenvolvido e o Excel, foi de zero por cento.

4.2.5. BoxPlot

O BoxPlot é uma importante ferramenta para analisar a distribuição e assimetria dos dados como também verificar a existência de valores discrepantes, os quais se encontram fora dos limites superiores e inferiores do diagrama, conhecidos como *outliers*.

Sendo assim, a validação desta ferramenta

foi realizada através da comparação dos valores mínimos e máximos, médias, 1º quartil, 2º quartil (medianas) e 3º quartil, conforme apresentados na figura 9 e na tabela 7. Novamente, os valores mínimos e máximos, as médias, os 1º quartil, os 2º quartil (medianas) e os 3º quartil, obtidos através de ambos os softwares são exatamente os mesmos, ou seja, o erro relativo calculado entre os resultados obtidos através do software desenvolvido e o Excel, foi de zero por cento.

Deste modo, a validação das principais ferramentas estatísticas que contemplam o software obteve o resultado esperado, atendendo aos requisitos determinados inicialmente e sendo comprovada a concordância de seus resultados através de sua comparação com o Excel 2013.

Figura 9 – Validação do BoxPlot

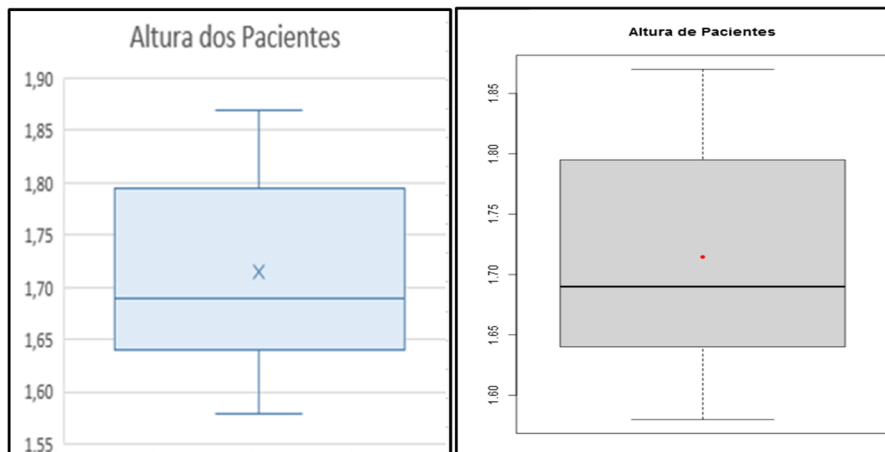


Figura IX - Gráfico Plotado pelo Microsoft Excel

Figura X - Gráfico Plotado pelo Software Desenvolvido

Fonte: Os Autores

Tabela 7 – Validação do BoxPlot

Ferramenta	Excel	Software Desenvolvido	ERRO
Mínimo	1,58	1,58	0%
1º Quartel	1,64	1,64	0%
Mediana	1,69	1,69	0%
Média	1,71	1,71	0%
3º Quartel	1,80	1,80	0%
Máximo	1,87	1,87	0%

Fonte: os autores

4.2.6. Comparação da Facilidade de Execução das Ferramentas Estatísticas com o Excel e o software desenvolvido

O software desenvolvido permite praticidade e rapidez na execução das ferramentas estatísticas, o que pode ser comprovado através da constatação de um menor tempo de execução comparada com a ferramenta Excel (ver tabela 8). Além disso, através do software desenvolvido os treinamentos ministrados para a utilização de tais ferramentas são muito mais rápidos e práticos.

Deste modo, conforme evidenciado pelos resultados apresentados na tabela 8, através do software desenvolvido obtém-se um ganho de

aproximadamente 26,1 minutos para a execução de todas as ferramentas contempladas na tabela acima, que correspondem a um ganho de tempo de 88%. Da mesma forma, há uma diminuição estimada de 34 horas na aplicação de treinamentos para o aprendizado de utilização de tais ferramentas estatísticas que correspondem a um ganho de tempo de 95%.

A próxima etapa do estudo contemplou a implantação do software nos principais indicadores do processo de fermentação de uma usina de açúcar e álcool, com o intuito de demonstrar as melhorias obtidas na empresa através da utilização do programa desenvolvido. Isso será evidenciado no subcapítulo a seguir.

Tabela 8 – Comparação – Tempo de Execução das Ferramentas Estatísticas – Excel x Software

Ferramenta Estatística	Ferramenta Excel		Software Desenvolvido		Diferença	
	Tempo	Qtde. de Cliques	Tempo	Qtde. de Cliques	Tempo	Cliques
CEP	8 min	26	0,8 min	5	7,2 min	21
Pareto	6 min	28	1,3 min	2	4,7 min	26
Box Plot	4,5 min	18	0,5 min	3	2,5 min	15
Histograma	9 min	38	0,4 min	3	4,6 min	35
Matriz de Correlação	2 min	10	0,4 min	3	1,6 min	7
TOTAL	29,5 min	120	3,4 min	16	26,1 min	104
Tempo Estimado para Treinamentos	36 horas		2 horas		34 horas	

Fonte: os autores

4.3 Implementação do Software

A implantação do software desenvolvido ocorreu nos aplicando-o nos principais indicadores do processo de fermentação de uma usina de açúcar e álcool, tais como temperatura, viabilidade, infecção, floculação, vazão e Brix do mosto e produção de etanol.

Estes indicadores foram analisados durante o mês de julho de 2015 e feita a sua comparação com os resultados obtidos no mês de julho de 2016, para demonstrar as melhorias alcançadas após as tomadas de decisões realizadas através das análises e avaliações estatísticas obtidas por meio da utilização do software desenvolvido.

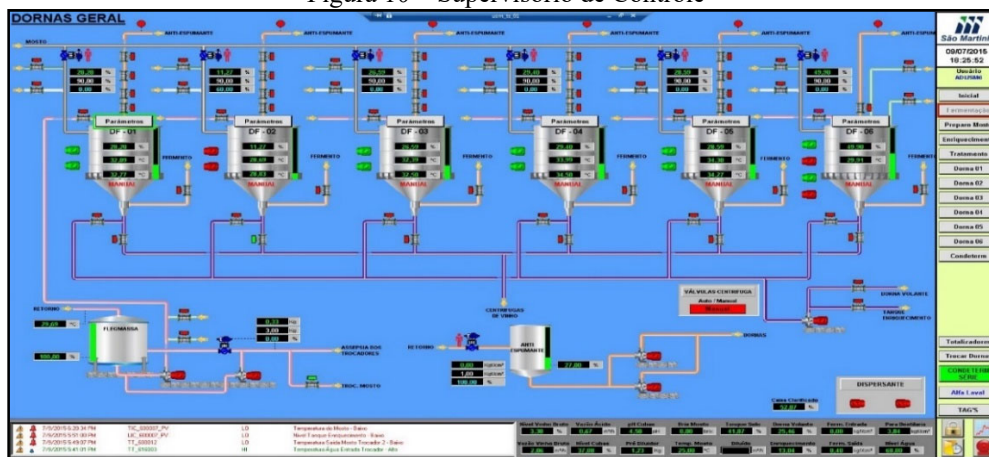
A implementação seguiu os seguintes passos, discriminados a seguir: Coleta dos Indicadores, Análise dos Indicadores, Resultados

da Implementação e das Ações Executadas, Correlações dos Principais Indicadores e Resultados Financeiros.

4.3.1 Coleta dos Indicadores

Os dados dos indicadores do processo de fermentação foram coletados através do software de gerenciamento PI System, que armazena e atualiza o banco de dados de todas as etapas do processo de produção de etanol em tempo real, e também através do formulário de operação do processo de fermentação (FO.SMI.PAL.03.8), coletados via sistema supervisor de controle, que disponibiliza os dados de operação em tempo real, conforme exemplificado de forma ilustrativa na figura 10.

Figura 10 – Supervisório de Controle



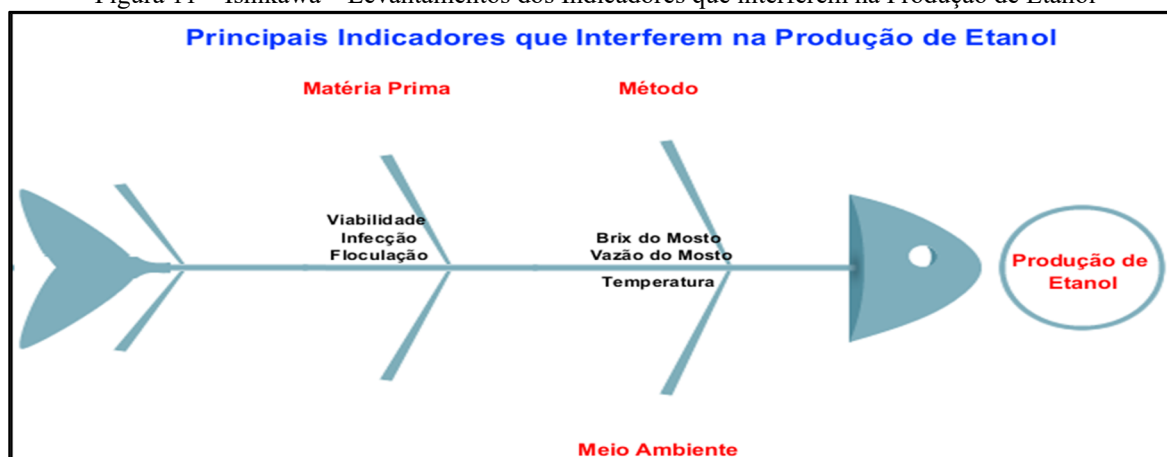
Fonte: os autores

4.3.2. Análise dos Indicadores

Inicialmente, foi realizado o Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa) do software

desenvolvido, para o levantamento dos indicadores que diretamente ou indiretamente interferem na produção de etanol, conforme demonstrado na figura 11.

Figura 11 – Ishikawa – Levantamentos dos Indicadores que interferem na Produção de Etanol



Fonte: Os Autores

Tabela 9 – Principais Indicadores que Interferem na Produção de Etanol

Indicadores	Limites	Pontos Fora	Ferramenta	Frequência Relativa (%)	Freq. Relativa Acumulada (%)
Temperatura	32 á 34 (°C)	29	CEP	28,71	28,71
Viabilidade	85 á 95 (%)	22	CEP	21,78	50,50
Floculação	< 20 %	19	CEP	18,81	69,31
Brix do Mosto	Constante*	17	CEP	16,83	86,14
Infecção	< 4x10 ⁷	11	CEP	10,89	97,03
Vazão do Mosto	Constante*	3	CEP	2,97	100,00

Fonte: Os Autores

Após o levantamento dos indicadores que interferem na produção de etanol, foi desenvolvido um Gráfico de Pareto, visando ordenar tais indicadores com seus graus de importância. Os resultados são apresentados na figura 11 e na tabela 9. Desse modo, ficou claro

quais indicadores necessitavam de priorização na tomada de decisão para a otimização da produção de etanol. O gráfico de Pareto foi realizado através dos dados que se encontravam fora dos limites de controle estabelecidos, definidos no Padrão Técnico de Produção (PTP) da usina de

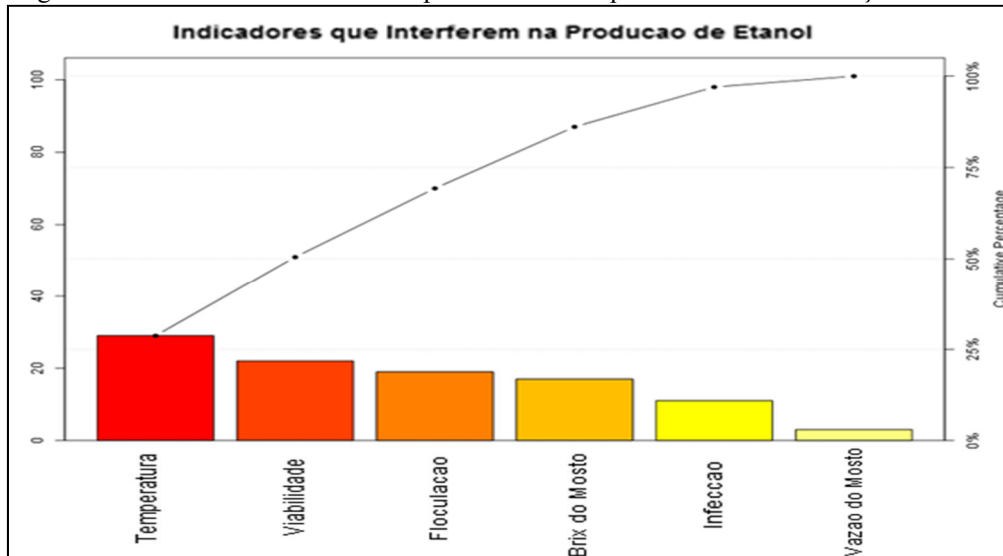
açúcar e álcool e obtidos na Carta de Controle (CEP), referente ao mês de julho de 2015. Estas Cartas de Controle com os respectivos limites de controle serão apresentadas posteriormente no item 6.3 desse capítulo.

O Brix do mosto, como também a vazão do mosto, devem ser constantes, ou seja, variar o

menos possível, para desta forma não ocasionar o estresse da levedura, evitando assim que ela flocule e gere a produção de produtos secundários.

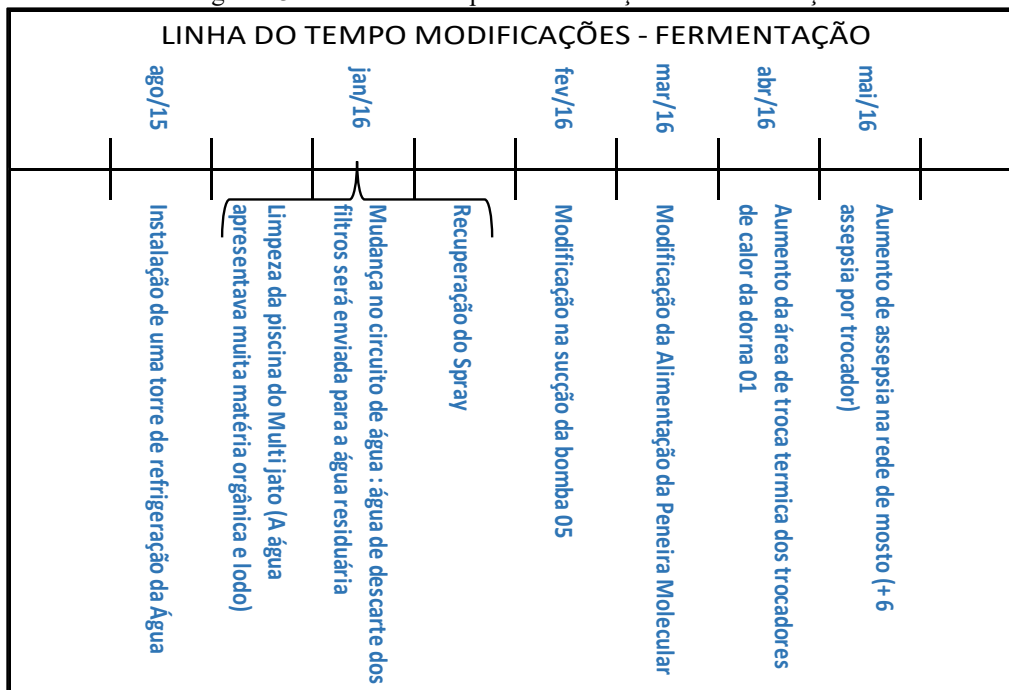
Deste modo, os limites estabelecidos foram os próprios limites de controle do CEP, 22 a 23°Brix e 345 a 530 m³/h.

Figura 12 – Gráfico de Pareto – Principais indicadores que interferem na Produção de Etanol



Fonte: os autores

Figura 13 – Linha do Tempo – Modificações na Fermentação



Fonte: os autores

De acordo com a figura 12, os três principais indicadores apresentados no Gráfico de Pareto são temperatura, viabilidade e floculação, que correspondem 69,31% dos fatores que interferem na produção de etanol.

Diante deste cenário, vivenciado durante o

período de julho de 2015, foram executadas ações de melhorias no processo da fermentação, conforme detalhado na figura 13.

As principais ações executadas foram a instalação da torre de refrigeração, a limpeza da piscina do multijato, o aumento da área de troca

térmica dos trocadores da dorna 01 e o aumento do número de assepsias realizadas na rede do mosto, onde todas essas ações contribuíram para o maior controle da temperatura do processo de fermentação, como também para o aumento de viabilidade e a diminuição da floculação da levedura.

4.3.3. Resultados Financeiros

O monitoramento e controle dos indicadores que interferem na produção de etanol foram de grande importância nos resultados de produção de etanol e levedura seca, como também na economia do consumo de insumos no processo de fermentação. Sendo assim, foi realizado um comparativo entre os meses de julho de 2015 e julho de 2016. Os valores da

comparação estão na tabela 10.

Verifica-se que através do monitoramento e controle dos indicadores a Usina de açúcar e álcool obteve-se um ganho de 5% na produção de etanol e de 41% na produção de levedura seca, o que contabilizou um valor de R\$2.930.901,62 (dois milhões, novecentos e trinta mil, novecentos e um reais e sessenta e dois centavos).

Além disso, obteve-se também uma economia de 14% no consumo de insumos que correspondem a R\$ 616.543,01 (seiscentos e dezesseis mil, quinhentos e quarenta e três reais e um centavo).

Sendo assim, conclui-se que a Usina obteve um aumento de lucratividade total de R\$ 3.547.444,62 (três milhões, quinhentos e quarenta e sete mil, quatrocentos e quarenta e quatro reais e sessenta e dois centavos).

Tabela 10 – Comparativo dos Resultados – Mês de Julho 2015 x 2016

Produção	Unidade	Julho		Diferença	Diferença (%)	Valor (R\$)	Aumento de Lucratividade
		Safra 2015	Safra 2016				
Etanol	(m ³)	36.480	38.240	1.760	5%	1,33 R\$ /litro	R\$ 2.340.800,00
Levedura	(t)	839	1.185	346	41%	529 US\$ / t	R\$ 590.101,62
PRODUÇÃO TOTAL					46%		R\$ 2.930.901,62
Insumos	Unidade						
Ácido Sulfúrico	(g/m ³ ET)	261.733,00	251.348,00	10.385,0	4%		R\$ 367.479,46
Antiespumante	(g/m ³ ET)	9.083,00	8.525,00	558,0	7%	970 R\$ /t	R\$ 162.846,72
Dióxido de Cloro	(g/m ³ ET)	12.462,00	12.058,00	404,0	3%	8 R\$ / kg	R\$ 86.216,83
INSUMOS TOTAL					14%	5,85 R\$ / kg	R\$ 616.543,01
AUMENTO DE LUCRATIVIDADE TOTAL							R\$ 3.547.444,62

* Nota: O valores dos insumos e do dólar são referentes ao mês de Julho de 2015

Fonte: os autores

5. Considerações Finais

A utilização de um software de uso trivial contemplando as principais ferramentas estatísticas garante o monitoramento, análise e controle dos produtos, processos e serviços.

É de suma importância a utilização de uma ferramenta estatística como a desenvolvida, para as organizações. Através de sua utilização é possível detectar a tendência e o comportamento dos dados do processo, como também visualizar a existência de causas especiais, e ordenar os problemas/atividades com grau de importância, para deste modo, obter o maior controle dos processos organizacionais e contribuir na tomada de decisões e no desencadeamento de planos de ação.

A validação das principais ferramentas estatísticas contempladas no software obteve o resultado esperado, atendendo aos requisitos determinados previamente, sendo comprovada a veracidade de seus resultados através de sua comparação com o Excel 2013.

Além disso, o software desenvolvido

permitiu à organização objeto do estudo de caso, praticidade e otimização de tempo na execução das ferramentas estatísticas, através do agrupamento das ferramentas em menu suspenso, organizadas de forma simples e de uso trivial. No caso específico estudado, através do uso do software desenvolvido obteve-se um ganho de aproximadamente 26 minutos para a execução das ferramentas estatísticas quando comparado com o uso da Ferramenta Excel, o que corresponde a um ganho de tempo de 88%. Da mesma forma, obteve-se um ganho estimado de 34 horas na aplicação de treinamentos para o aprendizado de utilização de tais ferramentas estatísticas que correspondem a um ganho de tempo de 95%.

Enfim, a implementação do software na usina de açúcar e álcool permitiu evidenciar melhorias no gerenciamento e controle do processo de fermentação, que resultaram em um ganho de 5% na produção de etanol e de 41% na produção de levedura seca. Além disso, houve uma economia de 14% no consumo de insumos, resultando assim em um aumento de lucratividade

total de R\$ 3.547.444,62 (três milhões, quinhentos e quarenta e sete mil, quatrocentos e quarenta e quatro reais e sessenta e dois centavos).

Desta forma, pode-se concluir que os objetivos desse trabalho foram eficazmente alcançados.

Referências

ALVES, C. C. Gráficos de Controle CUSUM: um enfoque dinâmico para a análise estatística de processos. Florianópolis. Dissertação de mestrado do Centro Tecnológico do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. 2003. 134 p.

CARPINETTI, L. C. R. Gestão da Qualidade: Conceitos e Técnicas. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012. 239 p.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. Administração de Produção e Operações. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2006. 0

DEITEL, H. M. Java: Como Programar. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2003. 1374 p.

FALBO, R. A. Engenharia de Software. UFES – Universidade Federal do Espírito Santos, 2005.

FEIGENBAUM, A. V. Total Quality Control. 1ª ed. Nova York: McGraw-Hill, 1954.

GARVIN, D. A. Gerenciando a Qualidade: a visão estratégica e competitiva. Tradução de João Ferreira Bezerra de Souza. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

JÚNIOR MARSHALL, I.; CIERCO, A. A.; ROCHA, A. V.; MOTA, E. B.; LEUSIN, S. Gestão da Qualidade. 8 ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006. 204 p.

LONGO, R. M. J. Gestão da Qualidade: Evolução Histórica, Conceitos Básicos e Aplicação na Educação. In: CENTRO DA TECNOLOGIA DE GESTÃO EDUCACIONAL, 1995, São Paulo. Seminário. São Paulo: SENAC, 1995. p. 7-10.

MONTGOMERY, D. C. Introduction to Statistical Quality Control. Tradução de Ana Maria Lima de Farias e Vera Regina Lima de Farias e Flores. 4th Edition, New York: John Wiley, 2004.

NASSER, J. R. Otimização das colunas de absorção de recuperação de acetona na produção de Filter Tow por meio de estudos fenomenológicos e análise estatística. São Paulo, 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, USP, São Paulo, 2009, 66 p.

PALADINI, C. M. Gestão da Qualidade: Teoria e Casos. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 430 p.

PETERNELLI, L. A.; MELLO, P. de. Conhecendo o R: Uma visão estatística. Viçosa: Ed. UFV, 2007. 181p.

PINHEIRO, C. H. A. Metodologia da Pesquisa Científica. Disponível em: <http://www2.anhembri.br/html/ead01/metodologia_pesq_cientifica_80/lu04/lo2/index.htm>. Acesso em: 20, Março de 2016.

SELLTIZ, C. et al. Métodos de pesquisa nas relações sociais. ed rev. São Paulo: Herder, 1967. 687 p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da Produção. Tradução de Maria Teresa Corrêa de Oliveira e Fábio Alher. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002. 703 p.