

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA - EEL/USP

Gustavo Jorge Paulo

**Avaliação de desempenho de processos de produção de aromas baseado em metodologia
seis-sigma**

LORENA - SP
2021

Gustavo Jorge Paulo

Avaliação de desempenho de processos de produção de aromas baseado em metodologia seis-sigma

Monografia apresentado à Escola de Engenharia de Lorena (EEL-USP) como requisito obrigatório para a conclusão do curso de Engenharia Bioquímica.

Orientador: Valdeir Arantes

LORENA -SP
2021

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado
da Escola de Engenharia de Lorena,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Jorge Paulo, Gustavo
Avaliação de desempenho de processos de produção de aromas baseado em metodologia seis-sigma / Gustavo Jorge Paulo; orientador Valdeir Arantes. - Lorena, 2021.
66 p.

Monografia apresentada como requisito parcial para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia Bioquímica - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. 2021

1. Seis-sigma. 2. Química de aromas. 3. Processos de produção. 4. Metodologia estatística. I. Título. II. Arantes, Valdeir, orient.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho representa a união de duas grandes paixões minhas, a primeira: a estatística aplicada em processos que nos dá uma visão estratégica e racional sobre um cenário produtivo e o segundo: a química dos aromas, essas moléculas trazem em nossas vidas um detalhe que mal percebemos, mas que, com certeza, faz toda a diferença.

Gostaria de agradecer incialmente a Universidade de São Paulo por ter contribuído para meu crescimento e amadurecimento, ela me proporcionou inúmeras oportunidades para me desenvolver. Merece a reputação que tem de ser uma das melhores universidades de nossa nação.

Quero agradecer a todos os meus professores, vocês são nossos exemplos do que queremos para nosso futuro, com certeza inspiram nós alunos e contribuem para a nossa caminhada, não só acadêmica ou profissional, mas pessoal também. Lecionar e pesquisar no Brasil não é uma tarefa simples, mas podem ter certeza de que vocês são agentes de mudança social, mesmo sem perceber, vocês constroem profissionais e cidadãos melhores.

Sem o apoio da minha família eu jamais poderia ter frequentado uma faculdade em outra cidade em tempo integral, amo vocês.

Sou muito grato pelos meus amigos da graduação que moraram comigo e dividiram o *campus* comigo, vocês me inspiraram, me acolheram em épocas difíceis e me trouxeram muita felicidade. Carrego vocês comigo sempre aonde vou.

Obrigado Valdeir por ter aceitado meu convite de ser meu orientador, sua paciência e amor por ensinar fizeram toda a diferença. O senhor é um exemplo de professor que contribui muito para o desenvolvimento dos alunos, os esforços do senhor catalisaram meu amadurecimento e eles valeram muito a pena.

Agradeço muito ao meu time do estágio e a empresa que tive meu primeiro passo na carreira como profissional em período integral. A oportunidade de poder trabalhar em um ambiente rico em aprendizado, mesmo em um cenário de pandemia, mostra como a empresa é consistente, séria e se preocupa com seus colaboradores.

Deixo a reflexão de uma perfumista da companhia que pude ter meu primeiro passo de carreira: “Aroma é poderoso ele cria um diálogo não verbal e tem a capacidade de provocar reações intensas”, gostaria de adicionar: ele nos faz conectar com memórias do passado, aumentam nosso apetite, desencadeia sensações de: conforto, satisfação e alegria. Um mundo sem aroma é um mundo sem cor.

RESUMO

J. Paulo, Gustavo. **Avaliação de desempenho de processos de produção de aromas baseado em metodologia seis-sigma.** 2021. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Bioquímica, Universidade de São Paulo -Escola de Engenharia de Lorena, Lorena, 2021.

A partir da década de 50, houve um crescimento exponencial de conteúdo técnico e científico relacionado ao mercado de aromas e fragrâncias. É recorrente em indústrias químicas, como a de aromas e fragrâncias, estudada neste trabalho, a presença de não conformidades. Uma das metodologias de avaliação estatística que podem trazer benefícios, auxiliar o monitoramento e deixar um processo mais saudável é a norma: ISO 22514-1 (2014) *Statistical methods in process management — Capability and performance* (do inglês: Metodologias Estatísticas em Gerenciamento de Processos — Capabilidade e Performance). Esta norma usa os seguintes índices de avaliação: índice de performance do processo (Pp e Ppk) e índice de capabilidade do processo (Cp e Cpk). Neste sentido, o principal objetivo do presente trabalho foi aplicar esta metodologia e suas ferramentas de avaliação estatística para melhoria do desempenho do processo em uma indústria química produtora de aromas de grande porte com problemas de não-conformidades. Desta indústria química de grande porte, foram avaliados a performance histórica da produção de 30 aromas, os quais foram nomeados genericamente (por motivo de sigilo de informações) como Aromas 1, 2, 3 até 30. O foco da presente avaliação são variáveis contínuas físico-química que são parâmetros críticos para a qualidade, como densidade, índice de refração, pH e concentração de cloretos. Pôde-se observar que 23 dos 30 aromas avaliados tiveram seu desempenho de processos melhorado apenas avaliando estatisticamente os seus dados históricos, utilizando o índice de performance do processo com relação a especificação do cliente (Ppk) e recalculando a especificação de liberação vigente. Dessa investigação foi possível detectar um gargalo de processo da produção e melhorar o índice de capabilidade de processos em 437,5%, passando de $Cpk = 0,40$ para $Cpk = 1,75$ e diminuindo a probabilidade de falhas do processo que levam a ocorrências de não conformidades. Sendo assim, esse processo deixou de ser classificado como ruim e passou a ser classificado como excelente de acordo com a ISO 22514-1.

PALAVRAS-CHAVE: seis-sigma, avaliação de processos, processos de produção, qualidade, química de aromas e fragrâncias

ABSTRACT

J. Paulo, Gustavo. **Performance assessment of flavor production processes based on six-sigma methodology.** 2021. 64 f. Undergraduate degree - Biochemical Engineering Course, University of São Paulo - Lorena Engineering School, Lorena, 2021.

Since the 1950s, there has been an exponential growth in technical and scientific content related to the flavours and fragrances market. The presence of non-conformities is recurrent in chemical industries, such as aromas and fragrances, studied in this work. One of the statistical evaluation methodologies that can bring benefits, help monitoring and make a process healthier is the standard: ISO 22514-1 (2014) Statistical methods in process management — Capability and performance — Capability and Performance. This standard uses the following evaluation indices: process performance index (P_p and P_{pk}) and process capability index (C_p and C_{pk}). In this way, the main objective of the present work was to apply this methodology and its statistical evaluation tools to improve the performance of the process in a big chemical industry that produces flavours with problems of non-conformities. The historical performance of the production of 30 flavours from this large chemical industry was evaluated, which were generically named (for reasons of confidentiality of information) as Aroma 1, 2, 3 to 30. The focus of the present evaluation are continuous variables and physico-chemical parameters which are critical parameters for quality, such as density, refractive index, pH and chloride concentration. It could be observed that 23 of the 30 flavors evaluated had their process performance improved only by statistically evaluating their historical data, using the process performance index against customer specification (P_{pk}) and recalculating the current release specification. From this investigation, it was possible to detect a production process bottleneck and improve the process capability index by 437.5%, going from $C_{pk} = 0.40$ to $C_{pk} = 1.75$ and reducing the probability of process failures that lead to occurrences of non-conformities. Therefore, this process is no longer classified as bad and is now classified as excellent according to ISO 22514-1.

KEYWORDS: six-sigma, process assessment, production processes, quality, chemistrs of flavours and fragrances

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Crescimento exponencial da publicação de patentes relacionada a proteção de conteúdo técnico e científico em aromas e fragrâncias.....	18
Figura 2 - Molécula de vanilina com indicação dos grupos químicos funcionais.....	19
Figura 3 - Déficit nacional entre importação e exportação dos produtos relacionados a indústria de fragrância e higiene pessoal.....	20
Figura 4 - Os 5 países que mais consomem fragrâncias no mundo (valores em bilhões de dólares) de acordo com a Euromonitor	21
Figura 5 - Número de unidades fabris de produção de óleos essenciais no Brasil entre os anos de 2014 e 2017.	22
Figura 6 - Moléculas encontradas em essências de limão (<i>Citrus limonea</i>)	26
Figura 7 - Essências de limão (<i>Citrus limonea</i>) destilados 1, 3, 5 e 10 vezes.....	28
Figura 8 - Moléculas encontradas nas essências de laranja (<i>Citrus sinensis</i>)	30
Figura 9 - Ésteres encontrados nas essências de laranja (<i>Citrus sinensis</i>).	30
Figura 10 -Aldeídos encontrados nas essências de laranja (<i>Citrus sinensis</i>).	31
Figura 11 – Operação de extração por solvente	32
Figura 12 - Destilação com arraste a vapor em etapa única (direita) e em série (esquerda)	33
Figura 13 - Destilação com reator de micro-ondas.....	34
Figura 14 - Operação de secagem em <i>Spray Dryer</i>	35
Figura 15 - Curva da distribuição normal.....	39
Figura 16 - Histograma com a curva de normalização dos dados	40
Figura 17 - Gráfico obtido de uma avaliação de desempenho de processos	44
Figura 18 - Performance de processos não avaliados e não controlados.....	45
Figura 19 - Performance de processos avaliados e controlados	45
Figura 20 - Performance do processo Aroma 2 com especificação vigente.....	52
Figura 21 - Performance do processo Aroma 2 com especificação ajustada	53
Figura 22 - Performance do processo Aroma 15 com especificação vigente.....	54
Figura 23 - Performance do processo Aroma 15 com especificação ajustada	55
Figura 24 - Performance do processo Aroma 30 com especificação vigente.....	56

Figura 25 - Performance do processo Aroma 30 com especificação ajustada	57
Figura 26 - Desempenho de batelada individual Aroma 30 com especificação vigente sem pré-tratamento de matéria-prima.....	58
Figura 27 - Desempenho de batelada individual Aroma 30 com especificação vigente com pré-tratamento de matéria-prima.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Propriedades físico-químicas das moléculas encontradas na essência de limão (<i>Citrus limonea</i>)	27
Tabela 2 - Propriedades físico-químicas dos destilados de essência de limão (<i>Citrus limonea</i>) entre destilados 1x, 3x, 5x e 10x	29
Tabela 3 - Resultados de cromatografia gasosa para amostras extraídas da casca de laranja valenciana (Flórida-EUA) e de laranja pêra (Brasil).....	31
Tabela 4 - Resumo dos resultados da avaliação de desempenho dos processos utilizando banco de dados históricos	51

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Equação teórica do índice de capacidade de processos	38
Equação 2 - Equação matemática do índice de capacidade de processos	38
Equação 3 - Desvio padrão agrupado	39
Equação 4 - Equação do desvio denominado como <i>spooled</i>	39
Equação 5 - Fator de correção do desvio <i>spooled</i>	40
Equação 6 - Índice de capacidade de processos superior (Cpu) e inferior (Cpl)	41
Equação 7 - Índice de capacidade de processos com relação a especificação do cliente	41
Equação 8 - Índice de capacidade de processos com relação a especificação do cliente simplificado	42
Equação 9 - Índice de performance de processo	42
Equação 10 - Equação da variância simples	43
Equação 11 - Índice de performance de processos com relação a especificação unilateral superior	43
Equação 12 - Índice de performance de processos com relação a especificação unilateral inferior	43
Equação 13 - Índice de performance de processos com relação a especificação bilateral do cliente	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IOFI: *International Organisation of the Flavour Industry* (Organização Internacional das Indústrias de Aromas)

EU: *European Union* (U.E., União Europeia)

CNNPA: Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos

ANVISA: Agência Nacional de Vigilância Santária

ABIHPEC: Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos

ISO: *International Organisation for Standardisation* (Organização Internacional de Padronização)

ASTA: *Essential Oil Association or the American Spice Trade Organization* (Associação de Óleos Essenciais ou Organização Americana de Comércio de Especiarias)

EUA: Estados Unidos da América

DIN: *Deutsches Institut für Normung* (em português “Padrões Alemães Industriais”)

LSI: limite inferior de especificação

LSL: *lower specification limit*

LSE: limite superior de especificação

USL: *upper specification limit*

σ : desvio padrão simples

$\bar{\sigma}$: desvio padrão agrupado

n: tamanho da amostra

Σ : somatório

i: posição de um elemento de uma população

xi: elemento de uma população

\bar{x} : média simples

sp: *spooled*

$\Gamma(\bullet)$ função gama

c4: fator de correção do desvio *spooled*

d: variável equação do fator de correção c4

Cp: índice de capabilidade de processo

Cpk: índice de capabilidade de processo com relação a especificação bilateral do cliente

Cpu: índice de capabilidade de processo com relação a especificação do limite superior do cliente

Cpl: índice de capabilidade de processo com relação a especificação do limite inferior do cliente

Pp: índice de performance do processo

Ppk: índice de performance de processo com relação a especificação bilateral do cliente

PPS: índice de performance de processo com relação a especificação do limite superior do cliente

PPI: índice de performance de processo com relação a especificação do limite inferior do cliente

μ : média amostral

ANSI: *American National Standards Institute* (Instituto Americano Nacional de Padronização)

SUMÁRIO

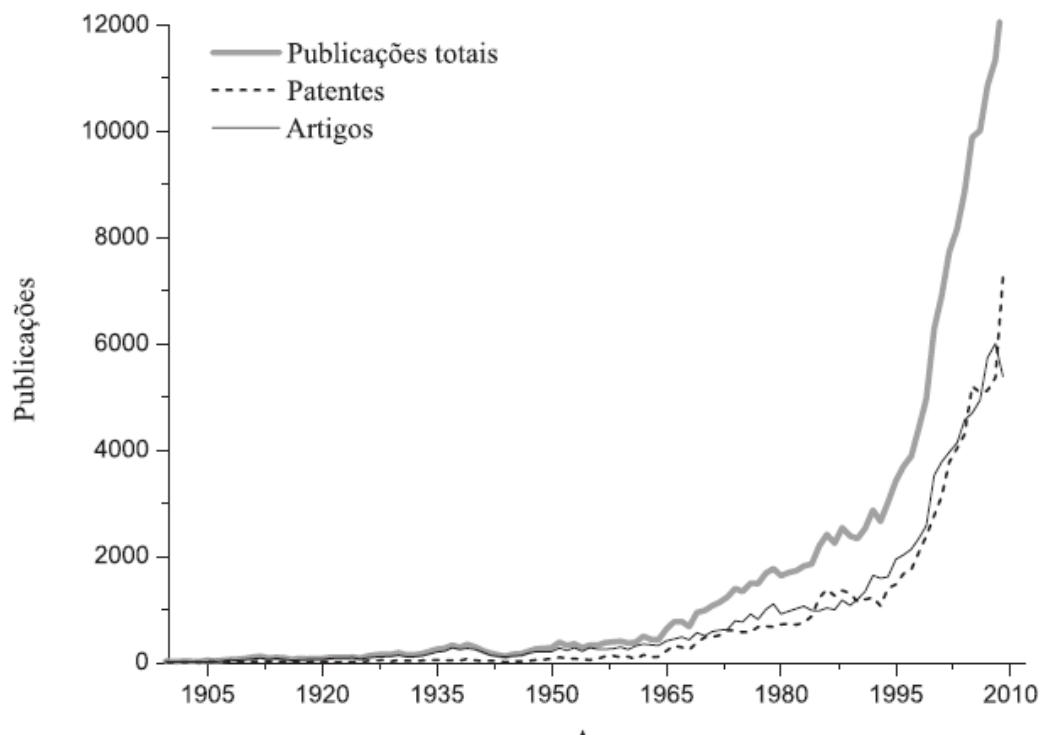
1	INTRODUÇÃO	18
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E LEGISLAÇÃO	18
1.2	JUSTIFICATIVA.....	20
1.3	OBJETIVO GERAL.....	23
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1	PROPRIEDADES QUÍMICAS DE MOLÉCULAS DE ORIGEM DE FRUTOS CÍTRICOS ...	25
2.2	OPERAÇÕES UNITÁRIAS DE SEPARAÇÃO E ISOLAMENTO DE EXTRATOS COM POTENCIAL AROMÁTICO.....	32
2.3	ASPECTOS GERAIS DA METODOLOGIA ISO 9000.....	35
2.4	A PRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA ISO 22514 - 1 (2014).....	37
3	METODOLOGIA.....	46
3.1	MÉTODO DE ESTUDO	46
3.2	MÉTODO DE LEVANTAMENTO DE DADOS HISTÓRICOS DO PROCESSO.....	46
3.3	MÉTODO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA	46
3.4	CATEGORIZAÇÕES DE PROCESSOS BASEADO EM ÍNDICES SEIS-SIGMA	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1	CONJUNTO DE RESULTADOS OBTIDOS	49
4.2	DETALHAMENTO DOS RESULTADOS DO TIPO CASO 1 (PREOCUPANTE)	52
4.3	DETALHAMENTO DOS RESULTADOS DO TIPO CASO 2 (POUCO PREOCUPANTE) ...	54
4.4	DETALHAMENTO DOS RESULTADOS DO TIPO CASO 3 (MUITO PREOCUPANTE) ...	56
5	CONCLUSÃO.....	60
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E LEGISLAÇÃO

A produção de conteúdo técnico e científico relacionado ao mercado de aromas e fragrâncias teve seu crescimento acentuado após os anos 50. Isto ocorre devido ao crescimento paralelo de bens de consumo como produtos de higiene pessoal, cosméticos e produtos alimentícios que utilizam insumos das indústrias químicas produtoras de aromas e fragrâncias. A qualidade sensorial, como o olfato, é o primeiro contato do consumidor com o produto e, portanto, é uma das características eliminatórias que impactam na compra de um consumidor. Sendo assim, é natural o crescimento acentuado da produção de conteúdo técnico e científico como as patentes (Figura 1) (SPEZIALI, 2012).

Figura 1 - Crescimento exponencial da publicação de patentes relacionada a proteção de conteúdo técnico e científico em aromas e fragrâncias.



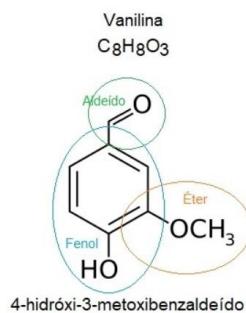
Fonte: (SPEZIALI, 2012)

De acordo com a IOFI (*International Organisation of the Flavour Industry*) *Code of Practice and EU (European Union) Flavour Directive*, pode-se separar os aromas e fragrâncias em 3 diferentes grupos:

- 1) Essências naturais: são substâncias provenientes de matéria já encontrada na natureza como, por exemplo, o aroma de origem vegetal, ou de processamento biotecnológico, seja através de microrganismo ou de enzimas;
- 2) Essências idênticas ao natural: são substâncias sintetizadas por processos químicos que resultam em uma molécula igual a natural. Geralmente são processos com temperaturas que não devem exceder 180 °C por um período de até 15 minutos. Geralmente um dos reagentes contém um grupo amina e o outro um açúcar redutor e a matéria prima pode ser de origem natural, mas passa por “processamento sintético”;
- 3) Essências artificiais: são moléculas que não são encontradas na natureza, mas tem potencial industrial e comercial.

Moléculas orgânicas com potencial aromático¹ possuem os grupos funcionais: éteres, ésteres, ácidos carboxílicos, cetonas, aldeídos, álcoois, fenóis e podem ser constituídos também de terpenos. Um exemplo é o caso da molécula de 4-hidróxi-3-metoxibenzaldeído que leva o nome comercial de vanilina e possui um grupo éter, um grupo fenol e um grupo aldeído (Figura 2) (SANTOS, 2017).

Figura 2 - Molécula de vanilina com indicação dos grupos químicos funcionais



Fonte: (adaptado de American Chemical Society)

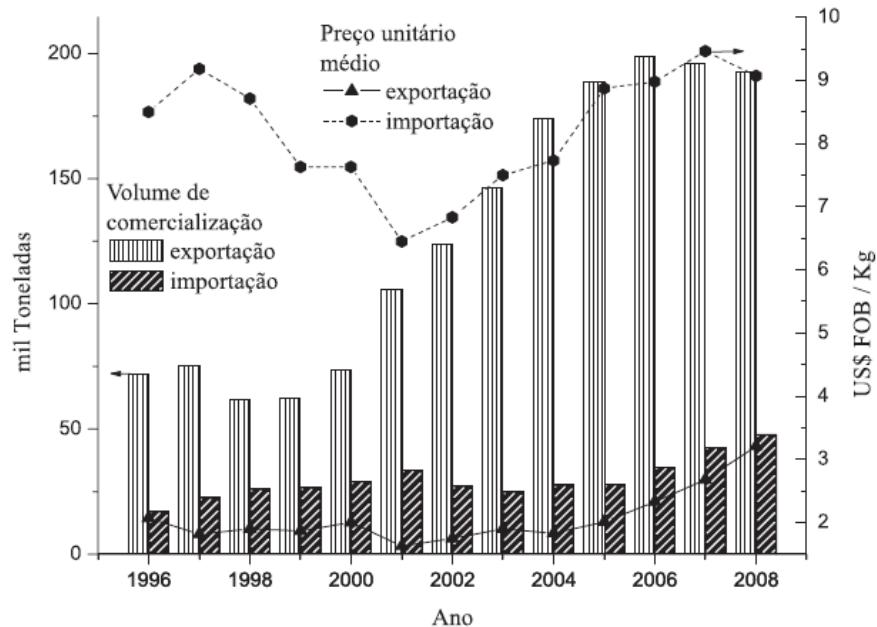
¹ Moléculas potencial aromático: entende-se por moléculas com potencial aromático aquelas que são percebidas sensorialmente graças a interação delas com as células olfativas do sistema respiratório de humanos e de outros animais e desencadeiam reações bioquímicas no sistema nervoso, trazendo sensações psicológicas de conforto ou desconforto, intensificar a fome e despertar memórias (BERGER, 2007).

1.2 JUSTIFICATIVA

O Brasil é considerado um país emergente quando se trata de tecnologias e de exportação relacionadas as fragrâncias e perfumes. Em contrapartida, o país já é um grande exportador de *comodities* que servem como matéria para produção de aromas e fragrâncias (SPEZIALI, 2012).

A Figura 3, produzida pela Secretaria do Comércio Exterior do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, mostra a relação em quantidade em mil toneladas e o preço unitário médio para as exportações e importações dos produtos relacionados a indústria de fragrância e higiene pessoal (SPEZIALI, 2012). Pode-se notar que o volume de exportação do Brasil é muito grande se comparado com as importações, entretanto, o valor agregado ao produto brasileiro é baixo. Também é possível notar o oposto com o fenômeno de importação. Isto revela que o Brasil não agrega tecnologia e não processa suas matérias primas, apesar deste cenário ter melhorado nos anos de 2006 e de 2008. Porém, há ainda um desequilíbrio notável na balança comercial brasileira.

Figura 3 - Déficit nacional entre importação e exportação dos produtos relacionados a indústria de fragrância e higiene pessoal.



Fonte: (SPEZIALI, 2012)

Apesar do déficit de exportação de produtos mais processados, o Brasil é considerado um dos grandes produtores de óleos essenciais de cítricos. Como um grande produtor das frutas cítricas e de seus sucos, há uma grande produção de subprodutos como as suas cascas e bagaços, que também podem ser reutilizadas. No caso da realidade nacional, estes subprodutos são bem reaproveitados, fazendo do Brasil um dos maiores produtores de óleos essenciais de cítricos do mundo (BIZZO, 2009).

Barbara Bigarelli (2017) coletou dados da Euromonitor, o maior instituto independente de coleta de informações de publicidade do mundo, e destacou que o Brasil lidera o mercado de perfumes na América Latina, e que entre 2010 e 2015 esse mercado cresceu 5% no Brasil. Neste estudo, é possível observar que as marcas populares brasileiras correspondem a cerca de 6 bilhões desse mercado anual contra o total 10,7 bilhões de reais movimentados em toda a América Latina. Isso mostra que o mercado nacional corresponde a cerca de 60% de todo o mercado de consumo de aromas e fragrâncias do continente latino-americano.

De acordo com a ABIHPEC (Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos) o setor de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos cresceu aproximadamente 19,2% entre os anos de 2008 e 2013. É notável que quando se analisa dados não só do mercado de perfumes, mas envolvendo cosméticos e produtos de higiene pessoal, a movimentação de capital se torna quase o triplo, movimentando cerca de 17 bilhões de reais no período de 2008 a 2013 (BIGARELLI, 2017).

Apesar da diminuição crescente do PIB e da desaceleração econômica do país, este é um setor muito bem estabelecido e que não irá perder sua relevância no mercado internacional (BIGARELLI, 2017). Da tabela abaixo retirada da Euromonitor (2016) (Tabela 1), é possível observar a movimentação de capital dos cinco maiores consumidores de fragrâncias ao redor do mundo. Nota-se que o Brasil se encontra em segundo lugar.

Figura 4 - Os 5 países que mais consomem fragrâncias no mundo (valores em bilhões de dólares) de acordo com a Euromonitor

 1º	Estados Unidos	7,923
 2º	Brasil	6,41
 3º	Alemanha	2,481
 4º	França	2,457
 5º	Reino Unido	2,411

Fonte: (BIGARELLI, 2017).

De acordo com Francine Laurindo et. al (2018), o estudo da Euromonitor (2016) destaca que o crescimento do setor de cosméticos e produtos de higiene pessoal e o forte público consumidor que mantém o Brasil no topo da lista de países consumidores de fragrâncias provém do fortalecimento do poder de consumo das classes B e C.

Luana Nascimento Silva et al. (2019) fizeram um levantamento econômico detalhado sobre a produção de óleos essenciais no Brasil entre os anos de 2014 e 2017. Considerando as unidades produtoras do ano de 2017, os autores concluíram que existe um maior número de indústrias produtoras de essência de laranja. A partir da Figura 9, é possível notar que aproximadamente 49,15% são de óleos de laranja, 31,03% são de cítricos exceto laranja e 19,82% são de óleos essenciais exceto cítricos (Figura 4).

Figura 5 - Número de unidades fabris de produção de óleos essenciais no Brasil entre os anos de 2014 e 2017.



Fonte: (SILVA, 2019)

A produção dos insumos de aromas e fragrâncias fazem parte de uma rede de suprimentos diversos envolvendo as esferas rural e industrial até chegar no varejo como um produto acabado, seja um produto alimentício, de higiene pessoal, de higiene doméstica, cosmético ou até em fármacos. Dessa forma, os óleos essenciais afetam inúmeros setores econômicos.

Tendo em vista a importância econômica da produção de insumos aromáticos da indústria química se faz relevante estudar as propriedades químicas, o processamento e como deve-se avaliar seus processos produtivos com o objetivo de melhorá-los.

1.3 OBJETIVO GERAL

Aplicar ferramentas estatísticas de avaliação de desempenho de processos com a finalidade de auxiliar a tomada de decisão e melhorar a performance de processos em uma indústria química de grande porte.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma breve revisão bibliográfica sobre os temas específicos: química de moléculas com potencial aromático e metodologias de avaliação de desempenho de processos;
- Levantar informações relevantes sobre a relevância econômica, categorização da legislação, conceitos sobre a química das moléculas e processos de produção destes insumos;
- Aplicar metodologias estatísticas específicas de avaliação de desempenho de processo para avaliar os processos de uma indústria de aromas de grande porte, com o intuito de detectar gargalos de processos;
- Sugerir melhorias para os gargalos detectados para indústria em estudo.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura da presente monografia é organizada em seis itens. No item 1, é abordada a introdução a legislação e economia sobre aromas e fragrâncias, tanto nas realidades a nível global como a nível nacional.

O item 2 trata da fundamentação teórica e científica relacionada aos compostos obtidos destas matérias-primas e as operações e procedimentos industriais de como eles podem ser separados e isolados. Neste item é exposto alguns exemplos breves de moléculas e tipos de processamento a fim de não se especificar o processo tratado nem a variável em questão, uma vez que, os dados dos resultados e discussão foram feitos com os dados sigilosos, pois se trata de informações confidenciais.

O item 2 também aborda brevemente tópicos sobre a qualidade de aromas baseando-se nas normas *International Organisation for Standardisation 9000* (ISO) e da *Essential Oil Association or the American Spice Trade Organization* (ASTA). Além da explicação sobre a qualidade específica de aromas, há uma breve dedução matemática de como se determina os índices de

performance e capabilidade de processos (Pp, Ppk, Cp e Cpk), que são os índices de avaliação de desempenho de processos da norma *ISO 22514-1 (2014) Statistical methods in process management — Capability and performance* utilizados neste trabalho.

O item 3 é destinado à abordagem metodológica, nesta seção é explicado como se obteve os dados de processo e de como os processos foram categorizados, conciliando a literatura com a realidade da empresa em questão.

O item 4 é constituído pelos resultados e discussão do trabalho. Nessa seção, o(s) tipo(s) de processamento(s) e a(s) variável(is) tratadas não foram detalhadamente descritas uma vez que os dados foram omitidos por motivo de informação sigilosa. Os resultados detalhados das avaliações estatísticas de desempenho de processos foram divididos em 3 categorias: pouco preocupante, preocupante e muito preocupante. Esta categorização foi feita com o objetivo de ranquear os padrões de processos para realizar uma tratativa em ordem crescente de nível de preocupação do mais preocupante para o menos preocupante.

O item 5 apresenta as conclusões sobre a utilização da metodologia de avaliação de desempenho de processos, mostrando o impacto positivo sobre a utilização destas ferramentas estatísticas e com isso é dada a sugestão de como deve-se conduzir o processo a fim de se ter um melhor desempenho.

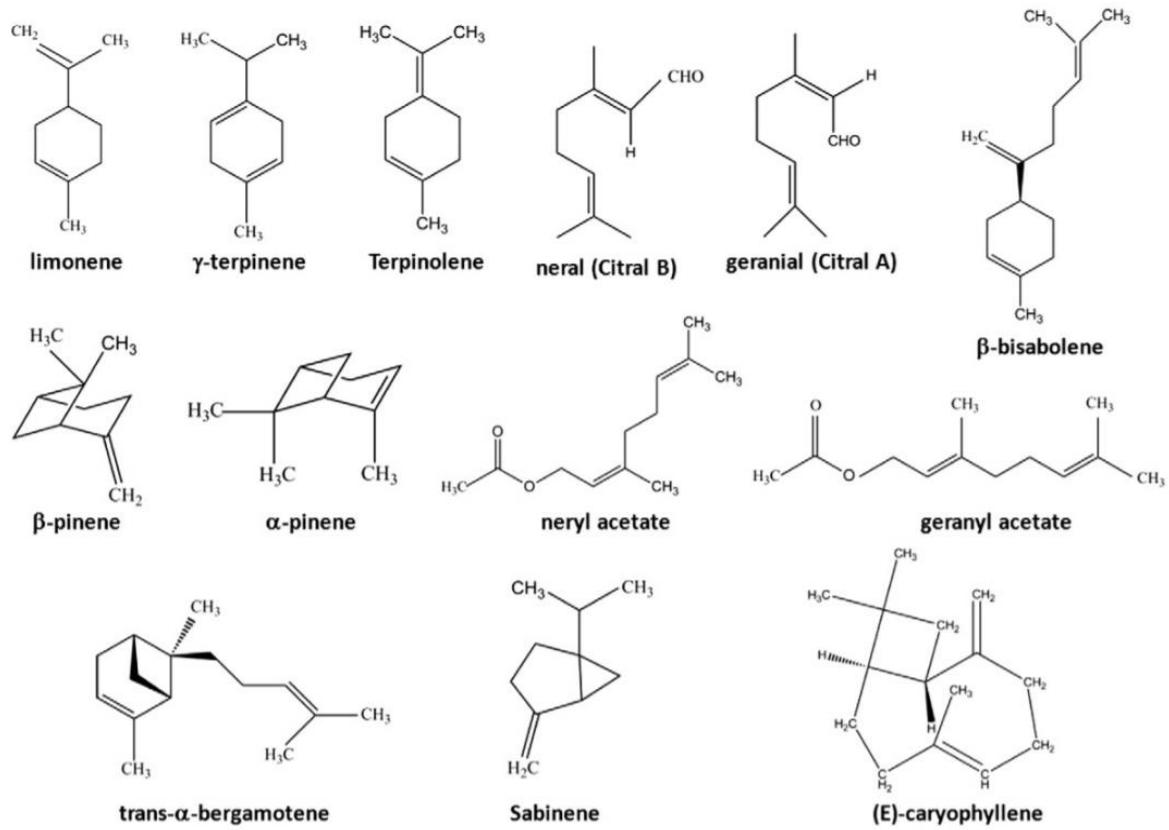
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PROPRIEDADES QUÍMICAS DE MOLÉCULAS DE ORIGEM DE FRUTOS CÍTRICOS

A produção de laranja corresponde a aproximadamente 60% da produção total de cítricos no mundo e os maiores produtores são o Brasil e a Florida nos EUA. Limão, mandarina e toranja também compõem esse mercado de cítricos, entretanto eles não contribuem tanto como a laranja (BERGER, 2007). O interessante do mercado de aromas cítricos é que eles são um aroma versátil, com um amplo espectro de aplicações: bebidas alcoólicas e não alcoólicas, produtos de limpeza doméstico (“*home-care*”), cosméticos e fragrâncias finas (como perfumes e colônias). Além disso, o processo de obtenção destes aromas pode ser feito a partir do rejeito da indústria de sucos, uma vez que grande parte dos óleos essenciais dos cítricos está na casca, o que barateia a sua produção e dá uma finalidade para um insumo que seria um rejeito (GONÇALVES; COSTA; RODRIGUES; RODRIGUES, 2018).

Dentre as moléculas encontradas em essências de limão (*Citrus limonea*) (Figura 7 e Tabela 2), o D-limoneno já é um composto consolidado do mercado do rejeito de cascas. Enquanto o D-limoneno é um composto cíclico, os acetatos de nerilo e genarilo são moléculas lineares oxigenadas e mais difíceis de serem evaporadas, por isso fazem parte da porção mais fina do extrato de limão (Figura 7) (RAO; MCCLEMENTS, 2012).

Figura 6 - Moléculas encontradas em essências de limão (*Citrus limonea*)



Fonte: (RAO; MCCLEMENTS, 2012).

Tabela 1- Propriedades físico-químicas das moléculas encontradas na essência de limão (*Citrus limonea*)

Molécula	Quantidade presente nos destilados				volume molar (cm ³ /mol)	massa molar (g/mol)	solubilidade em água (mg/L)	ponto de ebulição (°C)	entalpia de vaporização (kJ/mol)	índice de refração	densidade (g/cm ³)
	1 x	3 x	5 x	10 x							
Limoneno	67	63	49	25	163,2	136,13	4,58	175,44	39,49	1,468	
β-Pineno	12	4,9	---	---	153	136,13	7,06	166	38,59	1,483	0,834
γ-Terpineno	9	14	17	10	161,1	136,13	3,62	183	40,21	1,475	0,88
Sabineno	1,9	---	---	---	153	136,13	2,49	164	38,41	1,483	0,845
α-Pineno	1,8	---	---	---	154,9	136,13	4,07	157,88	37,83	1,479	0,88
Geranal (citra A)	---	3,84	7,12	14,4	203,8	152,24	84,71	229	46,56	1,456	0,879
Neral (citra B)	---	2,38	4,25	9,5	203,8	152,24	84,71	229	46,56	1,456	0,856
Terpinoleno	---	1,8	2,3	---	250,4	136,13	3,84	182	40,11	1,481	0,856
β-Bisaboleno	---	1,4	2,1	6,4	163,2	204,19	0,01	275,44	49,32	1,484	0,854
Acetato de nerila	---	---	2,57	5,7	216,9	196,15	18,24	247,5	48,47	1,458	0,904
Acetato de genarila	---	---	1,75	3,7	216,9	196,15	18,24	247,5	48,47	1,458	0,904
(E)-Cariophileno	---	---	1,4	3,2	228,4	204,19	0,05	268,4	48,6	1,494	0,89
Trans-α-bergamoteno	---	---	1,34	4,08	231,9	204,19	0,03	259,5	47,71	1,489	0,881

Fonte: (RAO; MCCLEMENTS, 2012).

Aproximadamente 70% do extrato frio da casca de limão é D-limoneno (Tabela 2), porém, quanto mais se refina, destilando esse extrato, menor é sua composição no óleo final. Nota-se que quanto mais destilado for o extrato mais escura se torna a amostra (Figura 8), maior sua viscosidade, densidade e maior seu ponto de ebulição (Tabela 3). Isso se dá pelo fato de que a composição de moléculas de maior massa molecular também aumenta. Observa-se também: quanto mais destilado é o óleo essencial, menor é a quantidade de terpenos e maior é a quantidade de compostos oxigenados, o que implica na sua maior polaridade e maior solubilidade em água (RAO; MCCLEMENTS, 2012).

Figura 7 - Essências de limão (*Citrus limonea*) destilados 1, 3, 5 e 10 vezes



Fonte: (RAO; MCCLEMENTS, 2012).

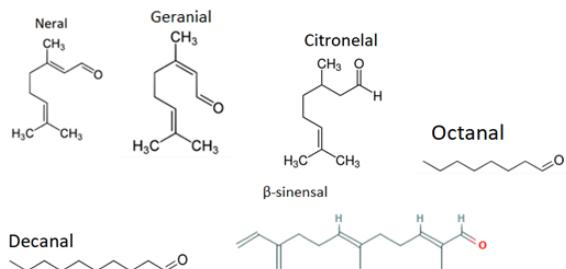
Tabela 2 - Propriedades físico-químicas dos destilados de essência de limão (*Citrus limonea*) entre destilados 1x, 3x, 5x e 10x

Propriedade	Destilado 1 x	Destilado 3 x	Destilado 5 x	Destilado 10 x
Baixa solubilidade em água (<0,05 mg/L)	0	1,4	4,8	13,7
Alta solubilidade em água (>5 mg/L)	12	11,1	15,7	33,3
Log(P)	68,8	66,2	56,1	38,7
Alta massa molar (>165 g/mol)	0	8	20,7	40,6
Alto volume molar (>192 cm ³ /mol)	0	8	20,7	40,6
Alta polarização (> 21.10 ⁻²⁴ cm ³)	0	1,4	9,2	23,1
Alto ponto de ebulição (>214°C)	0	7,6	20,5	47
Alta entalpia de vaporização (>44 KJ/mol)	0	7,6	20,5	47
Alta densidade (>870 Kg/m ³)	24,7	28,3	39,8	57
Alto índice de refração (1,47)	24,7	22,1	24,1	23,7
Densidade	842,9	840,3	844,9	855,9
Índice de refração	1,471	1,47	1,469	1,468

Fonte: (RAO; MCCLEMENTS, 2012)

As essências são compostas por mistura de moléculas aromáticas voláteis como os aldeídos que podem vir da laranja doce (*Citrus sinensis*) estas moléculas podem ser, por exemplo, de cadeia aberta, saturados, insaturados, aldeídos de terpenos e aldeídos fenólicos. Os aldeídos de cadeia aberta e insaturados são os aldeídos mais voláteis e fazem parte das notas de topo do aroma. Eles conferem aroma doce e floral e alguns exemplos deles são: citronelal, neral (isômero trans do citral), geranal (isômero cis do citral) e β -sinensal, sendo que o neral e o geranal são isômeros e o neral é o isômero mais doce. Já os terpenos saturados menos voláteis e de cadeia cíclica conferem um aroma mais verde e menos doce (Figura 9) (LAN-PHI, 2010).

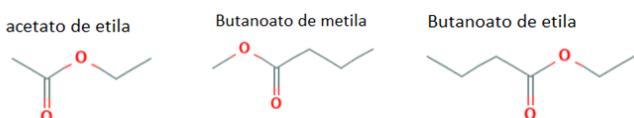
Figura 8 - Moléculas encontradas nas essências de laranja (*Citrus sinensis*)



Fonte: (PUBCHEM, 2020)

Os principais ésteres que compõe a essência de laranja são: acetato de etila com temperatura de ebulição em torno de 77°C, butanoato de etila e butanoato de metila com temperatura de ebulição em torno de 121 °C. Eles se volatizam antes dos aldeídos citados anteriormente (Figura 10). O octanal, por exemplo, entra em ebulição a 171°C e o citronelal a 202°C. Por isso os ésteres são os maiores responsáveis pelas notas de topo do aroma (LAN-PHI, 2010).

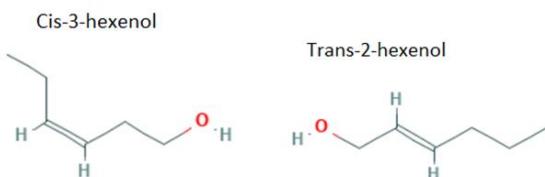
Figura 9 - Ésteres encontrados nas essências de laranja (*Citrus sinensis*).



Fonte: (PUBCHEM, 2020)

Além de ésteres, aldeídos e hidrocarbonetos, há também alguns álcoois que contribuem para o aroma de laranja, como o cis-3-hexenol e o trans-2-hexenol (Figura 11). Seus aromas contribuem com notas verdes, de grama cortada ou frutas verdes que não amadureceram ainda (PUBCHEM, 2020).

Figura 10 -Aldeídos encontrados nas essências de laranja (*Citrus sinensis*).



Fonte: (PUNCHEM, 2020)

Uma maneira de se analisar as moléculas que contribuem para o aroma é através da *Charm Analysis* (ou Análise Charm do português). Essa é uma técnica de espectrometria gasosa com a qual o analista realiza várias diluições diferentes do aroma de maneira aleatória, a fim de evitar o viés de análise sensorial por parte do analista e a intensidade do aroma é contabilizada pelo cromatógrafo e não pelo analista de maneira sensorial e mais subjetiva. O resultado desta análise é similar ao cromatograma, mas pela finalidade sensorial ele muitas vezes é chamado de aromagrama. Nele são gerados picos referentes a cada molécula de acordo com a sua concentração, de maneira semelhante a cromatografia tradicional (Tabela 4) (LAN-PHI, 2010).

Tabela 3 - Resultados de cromatografia gasosa para amostras extraídas da casca de laranja valenciana (Flórida-EUA) e de laranja pêra (Brasil).

Molécula	Atributo Sensorial	Laranja Valenciana (%)	Laranja Pêra (%)
Octanal	cítrico/aldeído	45	35
Linalol	frutado	39,7	12,8
Nonanal	floral	4,2	4,2
Decanal	doce/cítrico/laranja	5,5	4
Undecanal	cítrico/casca da laranja	6,4	3,5
β-Sinensal	herbal	14	8,2

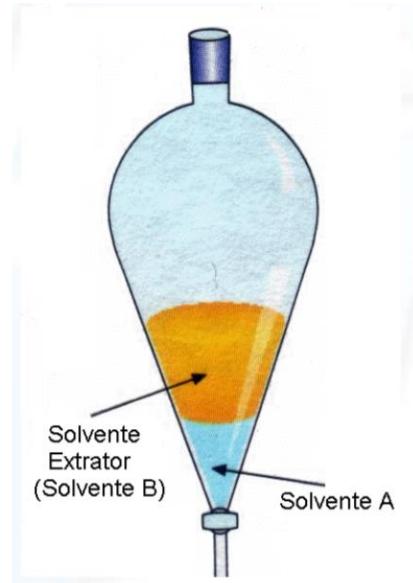
A partir da Tabela 4 pode-se concluir que os aromas-chave da laranja são os aldeídos de cadeias lineares entre 8 a 11 carbonos, o linalol e o β -sinensal. Desta maneira, uma indústria preocupada na qualidade sensorial de seus óleos essenciais pode usar esses compostos como parâmetros de qualidade sensorial de seu produto (LAN-PHI, 2010).

2.2 OPERAÇÕES UNITÁRIAS DE SEPARAÇÃO E ISOLAMENTO DE EXTRATOS COM POTENCIAL AROMÁTICO

As técnicas de separação têm como intuito a análise de uma amostra seja para a qualidade ou para a sua aplicação em um produto. Os processos podem ser uma extração química com solvente ou um processo de extração física como a destilação (BERGER, 2007).

A extração por solvente pode ser uma etapa anterior a destilação ou pode ser uma etapa final na obtenção dos extratos de origem de biomassa. É importante que o solvente tenha propriedades químicas similares ao extrato a ser separado, além de ter que ser inerte para não gerar reações químicas com o extrato. A Figura (12) a seguir mostra um breve exemplo de como funciona o processo de extração por solvente.

Figura 11 – Operação de extração por solvente

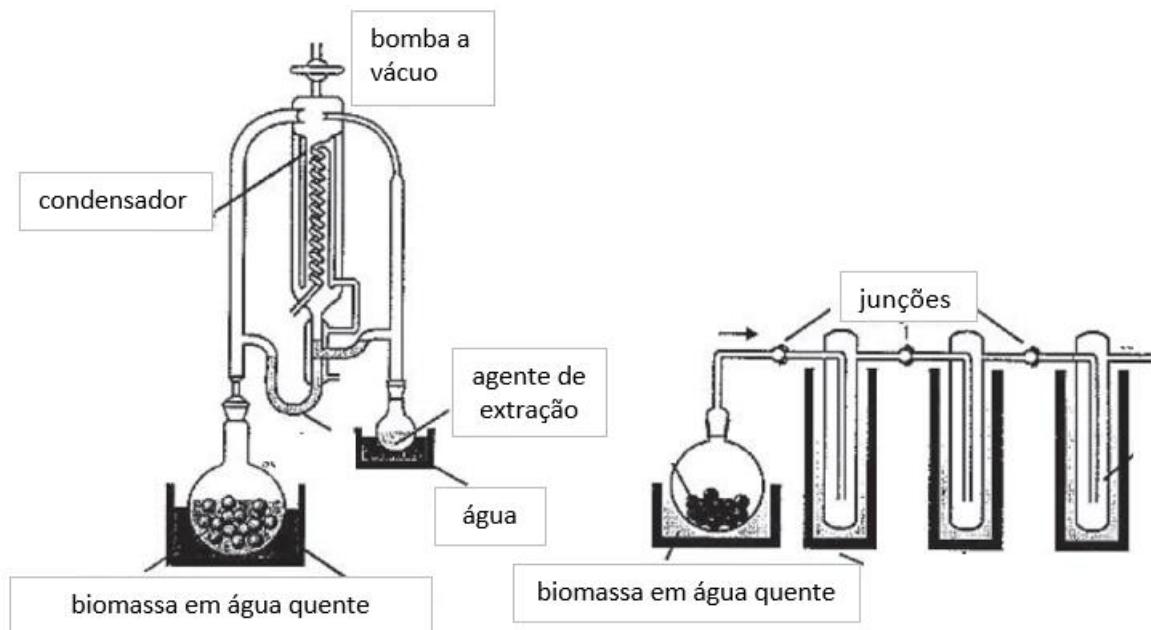


Fonte: (aula Prof. Dr. José Eduardo de Oliveira)

Uma das poucas características que todo composto que possui aroma tem em comum, dadas as devidas diferenças de temperatura de evaporação, é a sua volatilidade, pois sem volatilidade ele não é capaz de atingir as células de sensibilidade do sistema olfativo (ROWE, 2005). Matérias-primas de origem vegetal podem apresentar pesticidas entre outros componentes que podem gerar interferência na fragrância além de serem tóxicos. É por isso que antes da primeira destilação o extrato é diluído em água para que solubilize esses compostos interferentes menos voláteis e que são hidrofílicos. Dessa maneira, um pouco de água é aceitável na segunda etapa de destilação, entretanto, ela pode ser separada da essência com o uso de solventes orgânicos ou de técnicas de congelamento seletivo (BERGER, 2007).

A imagem a seguir mostra dois tipos tradicionais de destilação (Figura 13). A imagem da esquerda mostra uma destilação em uma etapa e a da direita mostra uma destilação com auxílio de alta pressão em várias etapas. É possível notar que ambas as destilações são feitas com aquecimento de banho maria, mas apenas a destilação da esquerda a biomassa vegetal se encontra em contato direto com a água, o que faz a amostra final possuir mais rastros de água do que a destilação da direita (BERGER, 2007).

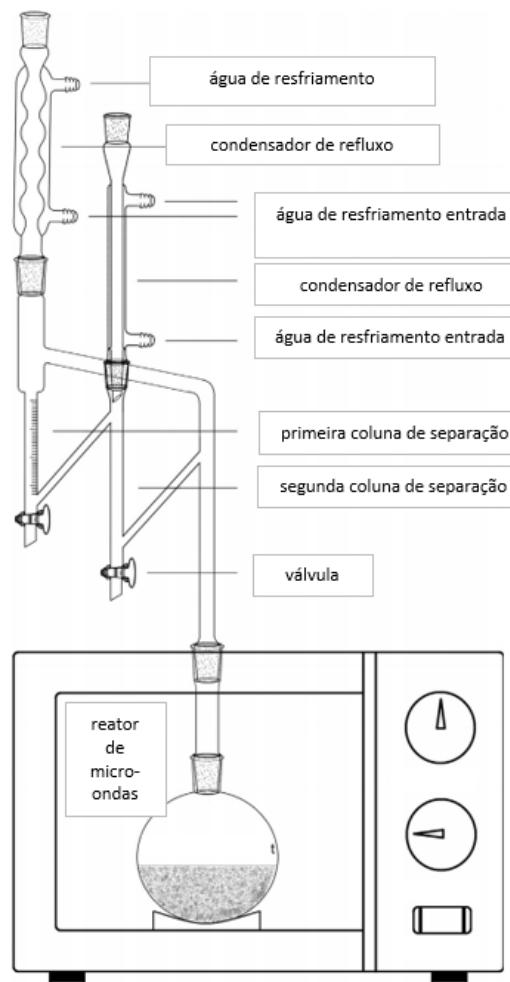
Figura 12 - Destilação com arraste a vapor em etapa única (direita) e em série (esquerda)



Fonte: (BERGER, 2007)

Além da destilação tradicional (Figura 13), a destilação por micro-ondas é mais eficiente e proporciona uma maior extração em menor tempo além de utilizar menos energia. O fenômeno eletromagnético é capaz de aquecer de maneira mais seletiva as moléculas de interesse, contribuindo para a velocidade do processo além de não utilizar o aquecimento por combustão (CASSEL et all., 2007). Como mostra o esquema abaixo (Figura 14), a biomassa está contida no frasco em formato de balão volumétrico ela e será submetida as ondas eletromagnéticas (LIU; JING; LI, 2019).

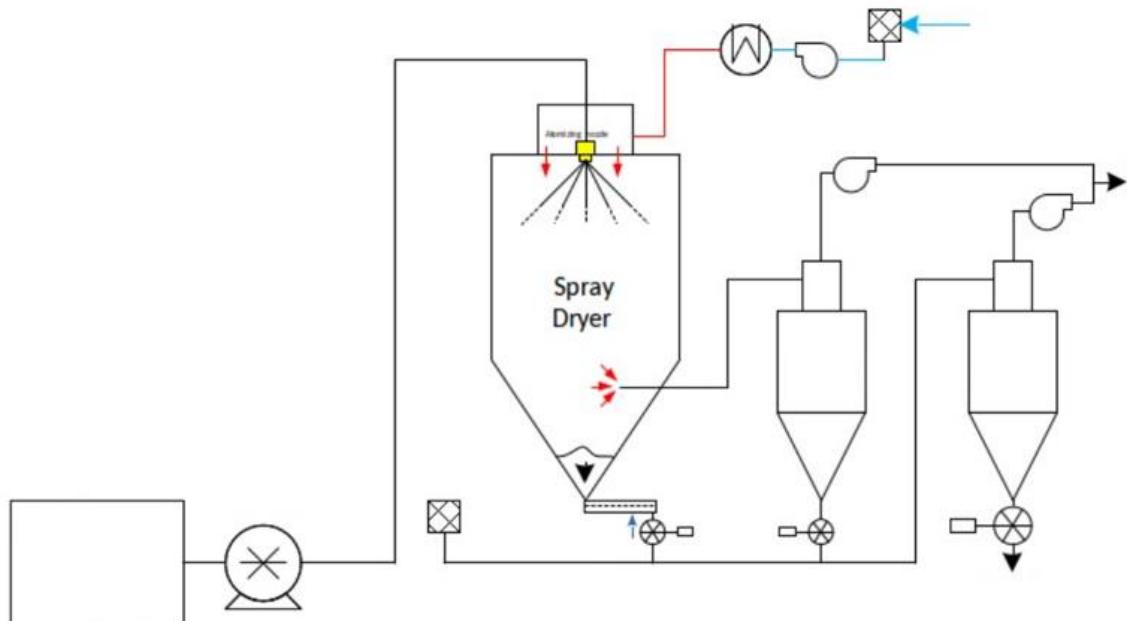
Figura 13 - Destilação com reator de micro-ondas



Fonte: (LIU; JING; LI, 2019)

Após a obtenção do óleo essencial por destilação, a etapa final de processamento é o microencapsulamento do aroma. Esta operação traz vários benefícios, como por exemplo, protege a molécula de estresses oxidativos, decomposição, ação microbiana, volatilização e promove liberação controlada do aroma (YANG et all., 2014). A microencapsulação é feita em *Spray Dryer*, um equipamento de secagem por atomização. A secagem em *Spray Dryer* está presente em diferentes áreas industriais como a farmacêutica, cosmética e alimentar (Figura 15) (YANG et all., 2014).

Figura 14 - Operação de secagem em *Spray Dryer*



Fonte: (PowderProcess.net

Online handbook for Engineers working with powders and bulk solids, 2021)

2.3 ASPECTOS GERAIS DA METODOLOGIA ISO 9000

A palavra qualidade quando relacionada aos aromas e fragrâncias pode ter dois sentidos, um deles no que se refere à qualidade sensorial como doce, salgado, amargo, azedo, floral, cítrico e o parâmetros físico-químicos no que se refere ao seu nível de aceitação comercial e industrial.

De acordo com *International Organisation for Standardisation* (ISO) a palavra qualidade é o conjunto de atributos e características de um produto ou serviço necessários para cumprir seus definidos objetivos. A qualidade geralmente é baseada em três diferentes princípios:

- 1) Certificar-se que as necessidades do consumidor foram identificadas e estão de acordo;
- 2) Examinar toda a cadeia produtiva e de serviços dos processos em ordem de se identificar erros em potencial e tomar medidas para eliminá-los;
- 3) Garantir que cada funcionário entenda como fazer o seu trabalho de maneira correta.

Para implementar a política de qualidade no trabalho diário de uma empresa é necessário a empresa possuir sistemas de gerência da qualidade instalada. Esses sistemas supervisionam, controlam, garantem e melhoram a qualidade do processo da indústria. Um exemplo de normas técnicas de qualidade é a DIN EN ISO 9000, onde DIN é sigla para *Deutsches Institut für Normung*, em português “Instituto de Padrões Alemães”, que hoje em dia é comumente chamado apenas de ISO 9000. Estas normas são consideradas um dos melhores conjuntos de garantia de qualidade em um produto ou serviço. Elas foram revisadas e alteradas nos anos 2000. Basicamente as etapas dessa norma são:

- Decidir qual a garantia de qualidade, as políticas e objetivos;
- Formalizar a política da empresa, escrevendo e concretizando os requisitos para que isso possa implementado pela equipe de garantia de qualidade;
- Implementação do sistema de garantia de qualidade;
- O sistema de garantia de qualidade deve ser avaliado por um externo que também esteja de acordo com as leis da ISO 9000;
- Descrever os processos da companhia apontando se há algo em falta e corrigindo os problemas;
- Certificar se a companhia está de acordo com os padrões.

No campo do Sistema de Controle de Qualidade, o controle de qualidade é definido como o conjunto de atividades ou conjunto de técnicas as quais tem como propósito a garantia de qualidade.

Um pré-requisito para qualquer controle de qualidade é definição de como as características da matéria prima implicam no produto-final e como o processamento dela deve ser feito. Isto significa que as características de todos os produtos. Um exemplo de normas técnicas para a análise de óleos essenciais foi produto pela associação *Essential Oil Association* ou

American Spice Trade Organization (ASTA). Entre os parâmetros estabelecidos por essa associação estão:

- Identidade: a matéria prima está em ordem?
- Pureza: a matéria prima está livre de contaminantes inaceitáveis? Como por exemplo a sujeira;
- Contaminação: há alguma contaminação? Como metais pesados, pesticidas, bactérias, fungos ou aflatoxinas;
- Adulterações: a matéria prima está livre de adulterações? Como adição de água ou solventes que aumente seu volume e dilua a matéria prima;
- Substâncias limitadas quantitativamente: há alguma regulação que limita a concentração de algum composto naturalmente presente na matéria prima? Como por exemplo as fitotoxinas;
- Validade: matérias-primas com muito tempo de prateleira podem sofrer alterações. Como por exemplo a oxidação de óleos essenciais expostos a luz por muito tempo;
- Autenticidade: a matéria prima é de origem natural ou sintética? Como por exemplo a vanilina natural obtida a partir da flor de baunilha ou por síntese biotecnológica ou através da síntese artificial a partir de guaiacol, um derivado do petróleo.

2.4 A PRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA ISO 22514 - 1 (2014)

Um processo pode ser definido como: “atividade que agrega valor produzindo produtos ou serviços com o objetivo de atender uma necessidade” (MONTGOMERY, 2009).

Existem inúmeras maneiras de como se avaliar o desempenho de um processo, podendo ser através de balanços de massa e energia a fim de se verificar o rendimento. Pode-se também avaliar como um processo se comporta durante o tempo através de parâmetros cinéticos, ou priorizar os parâmetros críticos para a qualidade.

Além de ser necessário avaliar as variáveis impostas pela natureza como: temperatura, pressão, densidade, tamanho de partícula, índice de fluidez, viscosidade, entre outras inúmeras, é necessário avaliar o processo de acordo com seu objetivo primário: atender a necessidade do cliente, uma especificação comercial. É neste contexto que faz importante o conhecimento e a utilização da norma ISO 22514 - 1 (2014) *Statistical methods in process management - Capability and performance* (MANUAL SOFTWARE ESTATÍSTICO ACTION STAT, 2020).

Esta norma estabelece alguns índices como os índices de capacidade de processo (Cp e Cpk) e índices de performance de processo (Pp e Ppk) (MANUAL SOFTWARE ESTATÍSTICO ACTION STAT, 2020). Os índices de capacidade de processo podem ser definidos como (Equação 1):

Equação 1 - Equação teórica do índice de capacidade de processos

$$Cp = \frac{\text{variabilidade permitida do processo}}{\text{variabilidade inerente do processo}}$$

Fonte: (MANUAL SOFTWARE ESTATÍSTICO ACTION STAT, 2020).

Para dados que seguem a distribuição normal, o índice de capacidade (também chamado de capacidade) de processo pode ser definido matematicamente como (Equação 2) (MANUAL SOFTWARE ESTATÍSTICO ACTION STAT, 2020):

Equação 2 - Equação matemática do índice de capacidade de processos

$$Cp = \frac{LSI - LSE}{6 \cdot \sigma}$$

Fonte: (MANUAL SOFTWARE ESTATÍSTICO ACTION STAT, 2020).

Em que:

LSI: limite inferior de especificação;

Em inglês LSL (lower specification limit)

LSE: limite superior de especificação;

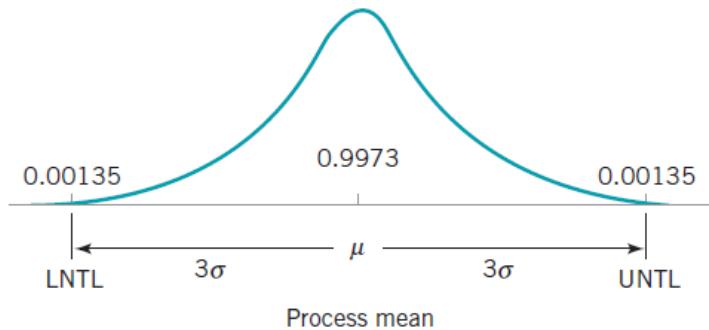
Em inglês USL (upper specification limit)

σ : desvio padrão agrupado.

A distribuição normal (Figura 16) explica a ocorrência de como muitos fenômenos da natureza se apresentam. Esta distribuição tem 99,73% dos seus dados dentro de três desvios-

padrões (3σ), ficando apenas 0,27% da frequência de dados fora dos seus limites e μ é a média amostral do processo (MONTGOMERY, 2009).

Figura 15 - Curva da distribuição normal



Fonte: (MONTGOMERY, 2009)

O desvio padrão agrupado pode ser calculado da seguinte forma (Equação 3):

Equação 3 - Desvio padrão agrupado

$$\hat{\sigma} = s_p$$

Fonte: (MANUAL SOFTWARE ESTATÍSTICO ACTION STAT, 2020)

s_p vem do termo em inglês *spooled* e é dado por (Equação 4):

Equação 4 - Equação do desvio denominado como *spooled*

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^m (n_i - 1)}}$$

Fonte: (MANUAL SOFTWARE ESTATÍSTICO ACTION STAT, 2020)

A fim de reduzir o vício da estimativa o fator de correção c_4 é usado (Equação 5):

Equação 5 - Fator de correção do desvio *spooled*

$$c_4(d) = \sqrt{\frac{2}{d-1}} \left(\frac{\Gamma(d/2)}{\Gamma((d-1)/2)} \right)$$

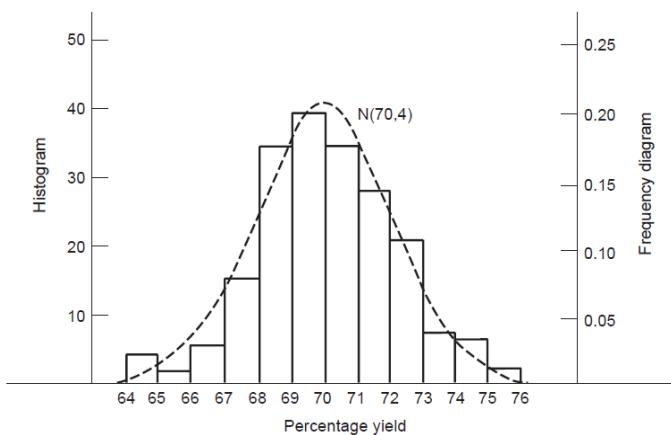
Fonte: (MANUAL SOFTWARE ESTATÍSTICO ACTION STAT, 2020)

Em que:

$\Gamma(\cdot)$ é função gama

Uma ferramenta gráfica muito simples de como se avaliar frequência de dados é através de histogramas. Histogramas são compostos por colunas, as quais por sua vez representam um intervalo numérico e quanto mais altas estas colunas, maior é a frequência dos dados que está contido neste intervalo (Figura 17) (SOONG, 2004).

Figura 16 - Histograma com a curva de normalização dos dados



Fonte: (SOONG, 2004)

Conforme esses índices de avaliação de processos foram aperfeiçoados, se passou a ter mais rigor com a especificação do cliente e o índice de capacidade do processo passa a ser avaliado de acordo com a especificação do cliente (Cpk) (PYZDEK, 2003).

Para isso outros índices são levados em consideração: os índices com relação a probabilidade de falha do limite superior (Cps, ou do inglês Cpu) e do limite inferior (Cpi ou do inglês Cpl) (Equação 6) (PYZDEK, 2003).

Equação 6 - Índice de capacidade de processos superior (Cpu) e inferior (Cpl)

$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (\text{upper specification only})$$

$$C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (\text{lower specification only})$$

Fonte: (MONTGOMERY, 2009)

Em que:

μ : é a média populacional.

Assim, tem-se que o índice de capacidade do processo de acordo com a especificação do cliente é sempre o menor valor obtido entre os índices unilaterais entre os limites inferiores e superiores (Equação 7):

Equação 7 - Índice de capacidade de processos com relação a especificação do cliente

$$C_{pk} = \min \left(C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}, C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right)$$

Fonte: (MONTGOMERY, 2009)

Mais simplificadamente (Equação 8):

Equação 8 - Índice de capacidade de processos com relação a especificação do cliente simplificado

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl})$$

Fonte: (MONTGOMERY, 2009)

Além do índice que avalia a capacidade do processo (C_p), existe de maneira análoga outro índice que avalia a performance do processo (P_p). A principal diferença entre os dois é como o desvio-padrão e a média são calculados. Enquanto o desvio padrão para a avaliação de capacidade do processo é baseado no desvio padrão e na média populacional (μ), a avaliação de performance do processo é baseada na média simples e desvio padrão simples. Vale ressaltar que para a avaliação de capacidade do processo (C_p), o processo deve estar sobre controle estatístico, esta outra avaliação é feita com adição de mais ferramentas da engenharia da qualidade como as cartas de controle que não foram abordadas neste trabalho, já o índice P_p é adequado para avaliação de dados de processo sem controle estatístico, sendo assim é importante frisar: o índice C_p deve ser utilizado para processo que se tem controle estatístico no processo!

De acordo com Douglas Montgomery (2009), em 1991 a *Automotive Industry Action Group* (AIAG), formado por representantes das grandes empresas: Ford, General Motors e Chrysler e a *American Society for Quality Control*, padronizam este índice de avaliação de processos da seguinte forma (Equação 9) (MONTGOMERY, 2009):

Equação 9 - Índice de performance de processo

$$\hat{P}_p = \frac{USL - LSL}{6s}$$

Fonte: (MANUAL SOFTWARE ESTATÍSTICO ACTION STAT, 2020)

A variância é calculada da seguinte forma (Equação 10):

Equação 10 - Equação da variância simples

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)}$$

Fonte: (MANUAL SOFTWARE ESTATÍSTICO ACTION STAT, 2020)

A *American National Standards Institute* (ANSI) padronizou que para a avaliação de desempenho de processos, o processo não precisa ser estável, isto é, estar sob controle estatístico (MONTGOMERY, 2009).

O índice de performance do processo com relação a especificação do cliente (Ppk) é construído de maneira análoga ao índice de capacidade de processos com relação a especificação do cliente (Cpk), a diferença entre os dois está no método do cálculo entre o desvio padrão simples (σ) e o agrupado ($\bar{\sigma}$). Para a especificação unilateral superior (Equação 11):

Equação 11 - Índice de performance de processos com relação a especificação unilateral superior

$$PPS = \frac{LSE - \mu}{3\sigma}$$

Fonte: (MANUAL SOFTWARE ESTATÍSTICO ACTION STAT, 2020)

E para a especificação unilateral inferior (Equação 12):

Equação 12 - Índice de performance de processos com relação a especificação unilateral inferior

$$PPI = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}$$

Fonte: (MANUAL SOFTWARE ESTATÍSTICO ACTION STAT, 2020)

Assim, tem-se que índice de performance do processo com relação a especificação do cliente é dado por (Equação 13):

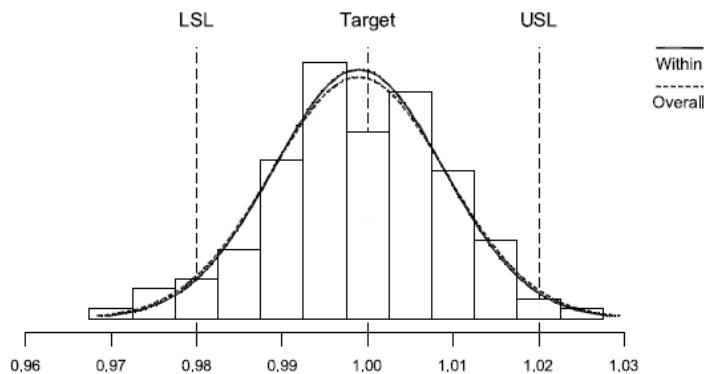
Equação 13 - Índice de performance de processos com relação a especificação bilateral do cliente

$$P_{pk} = \min\{PPI, PPS\}$$

Fonte: (MANUAL SOFTWARE ESTATÍSTICO ACTION STAT, 2020)

A união entre a ferramenta gráfica de frequência de dados do processo (histograma), baseando-se que a frequência de dados segue uma distribuição normal (curva de previsão dos dados normais), levando em conta o rigor da especificação (limites superior e inferior) e os desvios padrões, pode- se fazer a seguinte análise gráfica (Figura 18) (SOONG, 2004):

Figura 17 - Gráfico obtido de uma avaliação de desempenho de processos

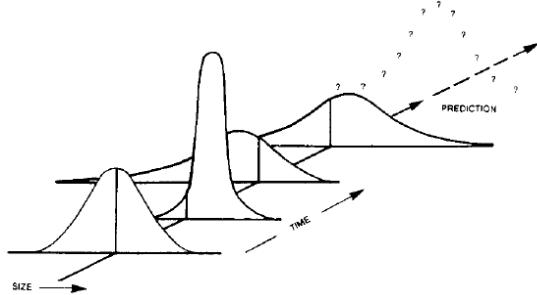


Fonte: (SOONG, 2004)

O gráfico obtido anteriormente é a união entre todas as ferramentas explicadas. Unindo uma simples análise gráfica, visual e índices numéricos é possível de se ter uma avaliação matemática e padronizada dos processos com o intuito de direcionar a tomada de decisão mais lógica sobre quais processos são gargalos mais preocupantes e quais deve-se ter mais atenção (PYZDEK, 2003).

Enfim, o controle e melhoria de um processo envolve a sua avaliação, um processo sem controle e sem avaliação é um processo com grandes variâncias, instável, imprevisível e suscetível a falhas (Figura 19) (PYZDEK, 2003).

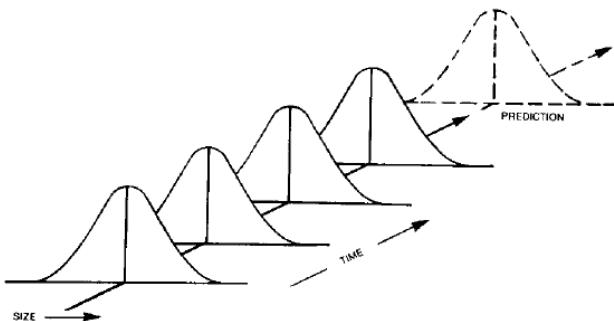
Figura 18 - Performance de processos não avaliados e não controlados



Fonte: (PYZDEK, 2003)

Quando metodologias de melhoria contínua são implementadas é possível de estabelecer decisões lógicas para identificar possíveis causas raízes e gargalos do processo. A avaliação e estudo contínuo do processo leva, consequentemente, na melhoria do seu desempenho a longo prazo e assim se evita desperdícios como: retrabalho, defeitos, movimentação excessiva e estoque de produtos não conformes (Figura 20) (PYZDEK, 2003).

Figura 19 - Performance de processos avaliados e controlados



Fonte: (PYZDEK, 2003)

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODO DE ESTUDO

O método de estudo consiste em pesquisa ação na qual a pesquisa se trata de uma breve revisão bibliográfica e a ação será a avaliação dos processos e sugestões de melhoria a fim de evitar os gargalos do processo.

As breves revisões bibliográficas que constam neste trabalho são um estudo de caráter qualitativo descritivo, focando em uma introdução da importância econômica a nível global e nacional, além de normas técnicas de classificação deste tipo de produto.

A segunda etapa da metodologia de estudo, também de caráter qualitativa descritiva, é voltada para uma investigação científica sobre as características químicas das moléculas com potencial aromático, tecnologia de seus processos e metodologias ISO de qualidade e avaliação estatística com as deduções matemáticas dos principais índices usados neste trabalho.

3.2 MÉTODO DE LEVANTAMENTO DE DADOS HISTÓRICOS DO PROCESSO

Os dados das variáveis de processos foram extraídos da plataforma SAP, sigla em alemão para *Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung* (em português Sistema de Sistemas, Aplicativos e Produtos em Processamento de Dados). Um *software* de uso comum de grandes centros de manufatura.

O controle de qualidade da empresa analisa internamente em laboratório os parâmetros físico-químicos dos produtos e alimenta este banco de dados, que por sua vez foram coletados para realizar as análises aqui presentes.

Foram levantados todos os dados históricos de cada uma das variáveis dos 30 aromas desde a primeira batelada analisada.

3.3 MÉTODO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para as análises utilizou-se o software Minitab® (versão 2018) para a avaliação dos 30 aromas listados nos resultados e discussão. Os resultados foram resumidos em uma tabela e apenas gráficos de alguns dos 30 aromas são apresentados de forma explícita.

Inicialmente foram removidos os *outliers* antes de se realizar a avaliação estatística. A remoção dos *outliers* foi feita baseada em: teste de Grubbs para *outliers*, gráficos *Boxplot*. Em

seguida foi realizado o cálculo de estatística básica avaliando a média, mediana e desvio padrão, amplitude dos dados e valores de máximo e mínimo.

Por último foi feito a análise de desempenho do processo confrontando a especificação vigente com uma especificação mais adequada (quando havia) e avaliando a melhoria dos índices de desempenho de processos (Cpk e Ppk).

3.4 CATEGORIZAÇÕES DE PROCESSOS BASEADO EM ÍNDICES SEIS-SIGMA

Já existem no mercado alguns valores utilizados por alguns setores industriais para a tomada de decisão, baseando nestes intervalos é que se pode decidir qual processo é mais crítico e deve ser tratado com maior atenção ou não. Dessa forma pode-se atacar com mais rigorosidade os processos que possuem piores desempenhos (MANUAL DE SUPORTE SOFTWARE ESTATÍSTICO MINITAB, 2021). A categorização feita a seguir foi feita baseada na literatura conciliada com a realidade dos processos da indústria em estudo. Sendo assim, a categorização adotada neste trabalho pode divergir de outros estudos devido as peculiaridades consideradas para os processos de produção de aromas. Para este trabalho foi considerado que:

- $Pp, Cp < 1,0$ processo não é centralizado;
- $1,0 < Pp, Cp < 1,33$ processo minimamente centralizado
- $1,33 < Pp, Cp < 1,66$ processo centralizado
- $Pp, Cp > 1,66$ processo altamente centralizado

Levando em consideração a especificação do cliente:

- $Ppk \text{ e } Cpk < 1,0$ desempenho de processo ruim;
- $1,0 < Ppk \text{ e } Cpk < 1,33$ desempenho de processo aceitável;
- $1,33 < Ppk \text{ e } Cpk < 1,66$ desempenho de processo bom;
- $Ppk \text{ e } Cpk > 1,66$ desempenho de processo excelente

Para uma análise inicial, utilizando somente dados históricos, foi considerado o índice Pp uma vez que o cálculo de seu desvio padrão não leva em consideração se o processo está sob controle estatístico. Baseando-se na utilização de cada índice e nos intervalos anteriores, foi categorizado que:

Caso 1, caso preocupante e prioridade intermediária: se $Pp > 1,0$ e $Ppk < 1,0$. Os dados históricos do processo são minimamente centralizados ($Pp > 1,0$), mas apresentam um desempenho ruim de processo ($Ppk < 1,0$).

Caso 2, caso pouco preocupante e prioridade mínima: se $Pp > 1,0$ e $Ppk > 1,0$, mas Pp é muito maior que Ppk sendo assim o processo pode ser melhorado alterando a especificação. Os dados históricos do processo já são minimamente centralizados e é um processo aceitável, mas pode ser melhorado. Se comparar com o desempenho de outros processos sua prioridade seria menor.

Caso 3, caso muito preocupante prioridade máxima: se $Pp < 1,0$ e $Ppk < 1,0$ os dados históricos do processo não são centralizados além do processo apresentar um desempenho ruim. Logo, o processo não poderá ser melhorado apenas mudando-se a especificação, mas é necessário investigar o processo vigente utilizando os índices de Cp e Cpk . Deve ser avaliado também: equipamento, matéria-prima e outras variáveis de processo que podem interferir na variável de saída que é crítica para a qualidade e para o cliente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONJUNTO DE RESULTADOS OBTIDOS

Foram avaliadas as variáveis críticas para a qualidade de 30 aromas, e os resultados obtidos estão expressos na Tabela 5. A tabela foi montada utilizando a base de dados históricos da empresa em estudo. As 3 colunas referentes a especificação vigente são os limites inferiores (*lower*), centro (*target*) e limites superiores (*upper*) das especificações já estabelecidas entre a empresa em estudo e seus clientes. As 3 colunas da especificação ajustada foram feitas de maneira análoga a da especificação vigente, mas o valor central (*target*) foi tirado da média da coluna “Histórico” e a amplitude das especificações ajustadas são a mesma amplitude da especificação vigente.

A coluna “Ppk spec vigente” é a coluna referente à performance atual do processo utilizando as especificações vigentes. O centro da especificação ajustada foi feito utilizando a média dos dados históricos, arredondamento e cálculos estequiométricos particulares da fórmula de cada aroma que não foram tratados neste trabalho, isso garante que o processo esteja o mais centralizado possível. Sendo assim, utilizando a média histórica como centro (*target*) da distribuição dos dados históricos e fazendo-se uma especificação ajustada da distribuição dos dados históricos obtém-se o índice de performance do processo (Pp) que estão localizados na coluna “Ppk spec ajustada”. Note que os resultados da coluna “Ppk spec ajustada” são iguais ou maiores que os resultados da coluna “Ppk spec vigente”.

A coluna “Diferença entre targets (ajustado – teórico)” é o valor absoluto (módulo) da diferença entre os *targets* das colunas “especificação vigente” e “especificação ajustada”. Esta coluna somada as colunas “Ppk spec vigente” e “Ppk spec ajustada” fornece uma dimensão sobre o impacto do deslocamento do ponto central do processo versus a melhoria da performance do processo.

As colunas “Dados históricos sem *outliers*” mostra como estão dispostos os dados ao longo da distribuição, sua amplitude, valores mínimos (“*min.*”) e máximos (“*max*”) e a mediana (“*median*”). Essa coluna é um complemento a coluna “Histórico” que fornece a amplitude de mais ou menos 3 desvios-padrão. É muito importante confrontar os dados e compará-los com as colunas de +/- 3 σ , com as colunas de mínimo e máximo histórico e as colunas dos limites de especificação inferior e superior, isto nos mostra o quanto o processo falha ao atender o cliente e são esses valores que resultam nos valores de Ppk.

As colunas “desempenho do processo especificação vigente” e “desempenho do processo especificação ajustada” mostram o desempenho do processo atual e como seria se fosse alterada a especificação com o centro na média histórica, utilizando as categorizações apresentadas na metodologia.

A coluna “ajuste de especificação ajuda?” basicamente mostra se a média histórica do processo tem o mesmo valor do centro (*target*) e se deve alterar a especificação ou manter.

Os casos foram determinados observando-se esses conjuntos de dados. Nos aromas tratados a seguir há apenas um caso 3 (muito preocupante) e todos os outros são casos 1 e 2 que receberam a mesma tratativa: alterar a especificação sem avaliar profundamente o processo na linha de produção como equipamento, matéria-prima e outras variáveis de entrada de processo.

Observando cada Aroma separadamente, tem-se o seguinte cenário:

- 11 aromas que apresentaram um desempenho de processo ruim: 1 deles não foi resolvido (Aroma 13) a tempo do término deste trabalho, 4 passaram para aceitável (Aromas 10, 11, 14 e 21), 4 passaram a ter desempenho de processos bom (Aromas 2, 4, 26 e 30), 2 passaram a ter um desempenho de processo excelente (Aromas 5 e 22).
- 6 aromas que tinham um desempenho de processo aceitável, continuaram aceitáveis 4 (Aromas 1, 3 e 12), nenhum passaram a ter um bom desempenho de processos, mas 2 passariam a ter um desempenho excelente de processos.
- 8 aromas tinham um bom desempenho de processo, metade manteria o bom desempenho (Aromas 6, 25, 26, 27 e 28) com a alteração da especificação e a outra metade passaria a ter um desempenho excelente (Aromas 8, 17, 19 e 24).
- 5 aromas já tinham atingido a excelência de desempenho de processos (Aromas 9, 16, 18, 20 e 23), mas ainda 2 deles podem melhorar o índice Ppk (Aromas 20 e 23).

Tabela 4 - Resumo dos resultados da avaliação de desempenho dos processos utilizando banco de dados históricos

Lista de aromas	especificação vigente			especificação ajustada			Histórico		Diferença entre targets (ajustado - teórico)	Ppk spec vigente	Ppk spec ajustada	Dados históricos sem outliers			desempenho do processo especificação vigente	desempenho do processo especificação ajustada	ajuste de especificação ajuda?	
	lower	target	upper	lower	target	upper	- 3σ	média	+ 3σ			min.	median	max.				
Aroma 1	1,0555	1,0605	1,0655	1,0550	1,0600	1,0650	1,0554	1,0599	1,0644	0,0005	0,99	1,1	1,0555	1,0602	1,0653	aceitável	aceitável	alterar especificação
Aroma 2	0,9800	0,9850	0,9900	0,9780	0,9830	0,9880	0,9795	0,9830	0,9865	0,002	0,76	1,43	0,9802	0,9828	0,9862	ruim	bom	alterar especificação
Aroma 3	1,1080	1,1130	1,1180	1,1090	1,1140	1,1190	1,1099	1,1140	1,1181	0,001	0,98	1,21	1,1102	1,1143	1,1174	aceitável	aceitável	alterar especificação
Aroma 4	1,0440	1,0490	1,0540	1,0460	1,0510	1,0560	1,0479	1,0510	1,0541	0,002	0,95	1,59	1,0477	1,0511	1,0528	ruim	bom	alterar especificação
Aroma 5	1,0045	1,0095	1,0145	1,0077	1,0127	1,0177	1,0099	1,0127	1,0155	0,0032	0,63	1,77	1,0112	1,0126	1,0150	ruim	excelente	alterar especificação
Aroma 6	0,8645	0,8695	0,8745	0,8649	0,8699	0,8749	0,8668	0,8699	0,8730	0,0004	1,5	1,62	0,8679	0,8699	0,8719	bom	bom	alterar especificação
Aroma 7	1,0640	1,0690	1,0740	1,0661	1,0711	1,0761	1,0687	1,0711	1,0735	0,0021	1,21	2,07	1,0694	1,0712	1,0722	aceitável	excelente	alterar especificação
Aroma 8	1,0520	1,0570	1,0620	1,0535	1,0585	1,0635	1,0562	1,0585	1,0608	0,0015	1,56	2,2	1,0569	1,0584	1,0598	bom	excelente	alterar especificação
Aroma 9	1,0770	1,0820	1,0870	1,0770	1,0820	1,0870	1,0802	1,0819	1,0836	0	2,9	2,9	1,0813	1,0817	1,0831	excelente	excelente	especificação vigente ok
Aroma 10	0,9720	0,9770	0,9820	0,9715	0,9765	0,9815	0,9716	0,9766	0,9815	0,0005	0,92	0,99	0,9739	0,9765	0,9803	ruim	aceitável	alterar especificação
Aroma 11	1,0020	1,0070	1,0120	0,9992	1,0042	1,0092	0,9990	1,0042	1,0094	0,0028	0,42	0,97	1,0020	1,0039	1,0127	ruim	aceitável	alterar especificação
Aroma 12	0,9680	0,9730	0,9780	0,9680	0,9730	0,9780	1,2842	1,5875	1,8908	0	1,16	1,16	0,9681	1,6000	1,9000	aceitável	aceitável	especificação vigente ok
Aroma 13	1,0100	1,0150	1,0200	1,0099	1,0149	1,0199	1,0061	1,0149	1,0237	0,0001	0,56	0,56	1,0101	1,0152	1,0200	ruim	ruim	especificação vigente ok
Aroma 14	0,9240	0,9290	0,9340	0,9222	0,9272	0,9322	0,9230	0,9272	0,9314	0,0018	0,75	1,18	0,9242	0,9271	0,9327	ruim	aceitável	alterar especificação
Aroma 15	0,9230	0,9280	0,9330	0,9210	0,9260	0,9310	0,9237	0,9259	0,9281	0,002	1,32	2,29	0,9231	0,9261	0,9270	aceitável	excelente	alterar especificação
Aroma 16	1,4150	1,4200	1,4250	1,4150	1,4200	1,4250	1,3937	1,4197	1,4457	0	1,81	1,81	1,4152	1,4200	1,4219	excelente	excelente	especificação vigente ok
Aroma 17	1,3970	1,4020	1,4070	1,3963	1,4013	1,4063	1,3986	1,4013	1,4040	0,0007	1,61	1,84	1,3987	1,4015	1,4062	bom	excelente	alterar especificação
Aroma 18	1,4280	1,4330	1,4380	1,4280	1,4330	1,4380	1,4301	1,4328	1,4355	0	2,23	2,23	1,4310	1,1143	1,4338	excelente	excelente	especificação vigente ok
Aroma 19	1,4410	1,4460	1,4510	1,4427	1,4477	1,4527	1,4454	1,4477	1,4500	0,0017	1,46	2,18	1,4456	1,4482	1,4492	bom	excelente	alterar especificação
Aroma 20	1,0045	1,0095	1,0145	1,4077	1,4127	1,4177	1,4109	1,4127	1,4145	0,4032	2,13	2,79	1,4110	1,4129	1,4134	excelente	excelente	alterar especificação
Aroma 21	1,4490	1,4540	1,4590	1,4517	1,4567	1,4617	1,4527	1,4567	1,4607	0,0027	0,57	1,25	1,4531	1,4570	1,4581	ruim	aceitável	alterar especificação
Aroma 22	1,4500	1,4550	1,4600	1,4531	1,4581	1,4631	1,4559	1,4581	1,4603	0,0031	0,86	2,26	1,4569	1,4583	1,4600	ruim	excelente	alterar especificação
Aroma 23	1,4430	1,4480	1,4530	1,4441	1,4491	1,4541	1,4478	1,4491	1,4504	0,0011	3,1	3,96	1,4484	1,4492	1,4501	excelente	excelente	alterar especificação
Aroma 24	1,4600	1,4650	1,4700	1,4610	1,4660	1,4710	1,4653	1,4659	1,4665	0,001	1,62	1,91	1,4646	1,4656	1,4673	bom	excelente	alterar especificação
Aroma 25	1,4150	1,4200	1,4250	1,4150	1,4200	1,4250	1,4196	1,4199	1,4202	0,0000	1,41	1,41	1,4155	1,4201	1,4249	bom	bom	especificação vigente ok
Aroma 26	1,4440	1,4490	1,4540	1,4419	1,4469	1,4519	1,4410	1,4468	1,4526	0,0021	0,9	1,54	1,4293	1,4470	1,4518	ruim	bom	alterar especificação
Aroma 27	1,4010	1,4060	1,4110	1,4007	1,4057	1,4107	1,4026	1,4057	1,4088	0,0003	1,51	1,61	1,4010	1,4061	1,4105	bom	bom	alterar especificação
Aroma 28	1,4020	1,4070	1,4120	1,4016	1,4066	1,4116	1,4030	1,4066	1,4102	0,0004	1,52	1,65	1,4033	1,4061	1,4065	bom	bom	alterar especificação
Aroma 29	1,3940	1,3990	1,4040	1,3940	1,3990	1,4040	1,3962	1,3991	1,4020	0,0000	1,19	1,19	1,3941	1,3993	1,4030	aceitável	aceitável	especificação vigente ok
Aroma 30	22,1	25,1	28,1	21,1	24,1	27,1	20,841	24,264	27,687	0,836	0,63	0,83	20,841	24,264	27,687	ruim	ruim	alterar especificação

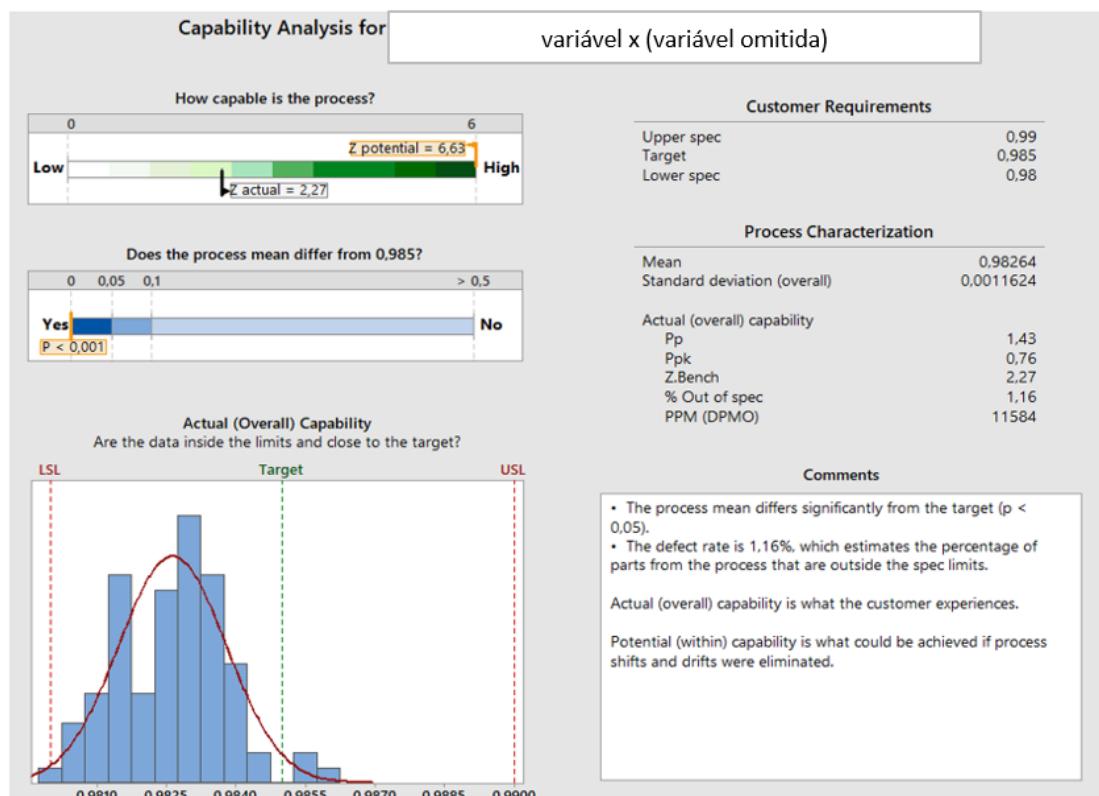
Fonte: Autoria Própria

4.2 DETALHAMENTO DOS RESULTADOS DO TIPO CASO 1 (PREOCUPANTE)

Para o Caso 1 será exemplificado a avaliação do “Aroma 2”. Caso preocupante, quando o desempenho do processo é pelo menos minimamente aceitável ($1,0 < Pp < 1,33$ pelo menos) mas a especificação vigente não é adequada ao processo, e isto faz o processo ter um índice de performance ruim ($Ppk < 1,0$). Da avaliação feita (Figura 21), podemos ver pelo histograma que os dados estão muito deslocados para baixo, mas que o processo é centralizado ($Pp > 1,33$). Entretanto, ao considerar a especificação do cliente, o processo apresenta um desempenho ruim ($Ppk < 1,0$).

Pode-se notar que a especificação vigente não é adequada para o processo uma vez que os dados estão deslocados próximos ao limite inferior, mas para a amplitude permitida pelo cliente o processo pode estar mais centralizado e possuir uma performance melhor.

Figura 20 - Performance do processo Aroma 2 com especificação vigente

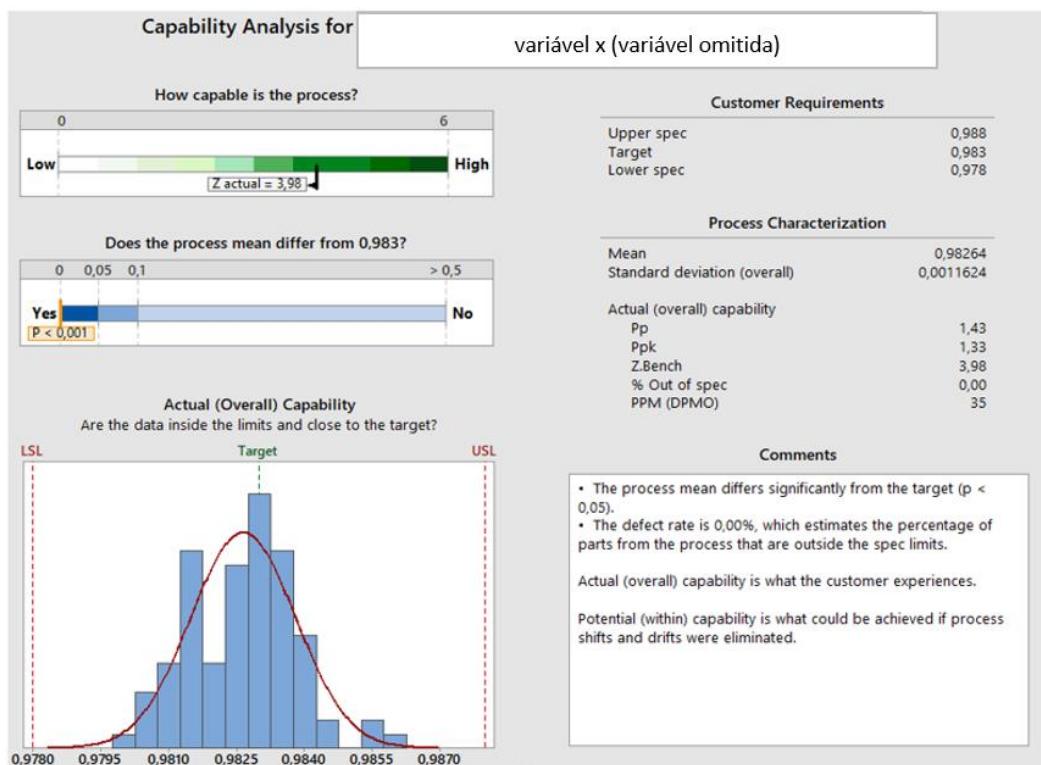


Fonte: Autoria própria

Utilizando a média arredondada dos dados histórica e a amplitude de $+/- 0,005$, tem-se um processo bom ($P_{pk} = 1,33$) (Figura 22). O ajuste da especificação aos dados melhora o processo, um processo que antes era classificado como ruim ($P_{pk} < 1,0$) e agora é um processo bom ($P_{pk} = 1,33$).

O processo ainda pode ser melhorado, mas para isso será necessário ir além da investigação dos dados históricos. Deve-se investigar o processo em si que se trata de uma avaliação citada no caso 3 e pela ordem de priorização não se faz necessário melhorar ainda mais este processo se há outros com desempenhos mais preocupantes. Isto é, o cliente aceita o produto desta maneira não vale a pena o investimento de recursos financeiros para aquisição de outros acessórios e equipamento que melhorariam o desempenho do processo. Para este caso, o valor de P_{pk} não se tornou igual ao valor de P_p devido ao arredondamento feito na 3^a casa decimal do *target* da especificação adotado pela empresa em estudo.

Figura 21 - Performance do processo Aroma 2 com especificação ajustada



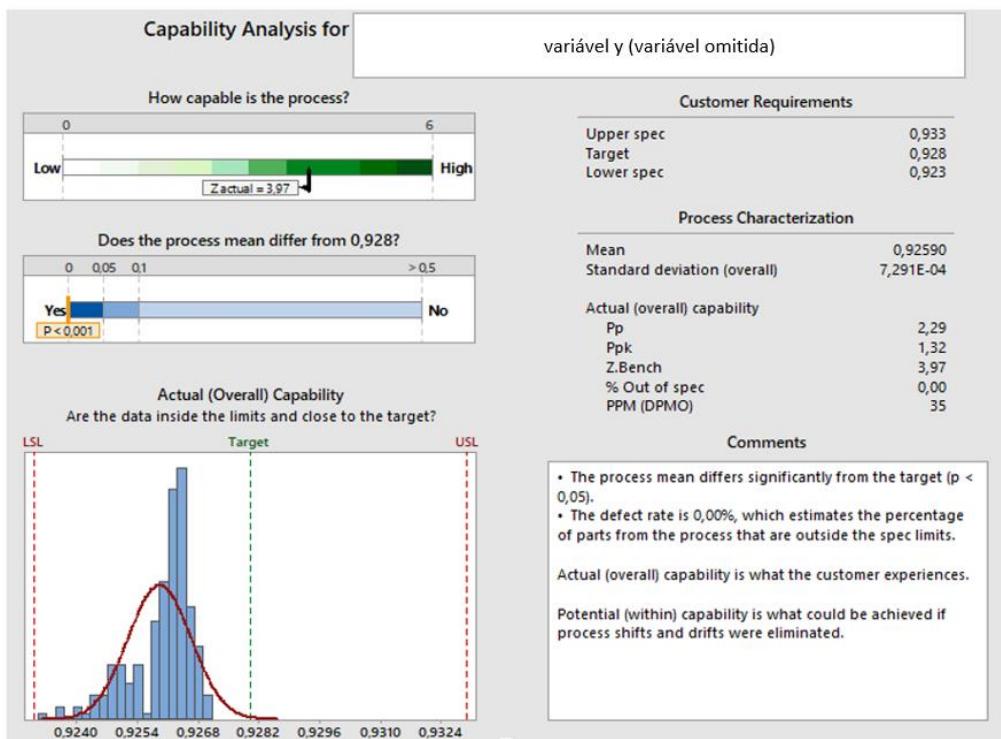
Fonte: Autoria própria

4.3 DETALHAMENTO DOS RESULTADOS DO TIPO CASO 2 (POUCO PREOCUPANTE)

Para o Caso 2 será exemplificado a avaliação do Aroma 15. Caso pouco preocupante, quando o processo já é bom, mas que pode ser melhorado, se tornando excelente com alteração de especificação.

O índice de performance do processo com relação a especificação do cliente já apresenta um valor muito próximo ao bom ($Ppk = 1,32$), sem o ajuste de especificação. Isso indica que a especificação não está tão inapropriada para o processo. Entretanto, ao observar a distribuição dos dados e comparar o centro da amplitude (*target*) com a média dos dados históricos (*mean*) e avaliar o perfil do gráfico (Figura 23) em si, pode-se notar que apesar dos dados serem quase centralizados, ainda podem ser ajustados para ter um desempenho excelente.

Figura 22 - Performance do processo Aroma 15 com especificação vigente



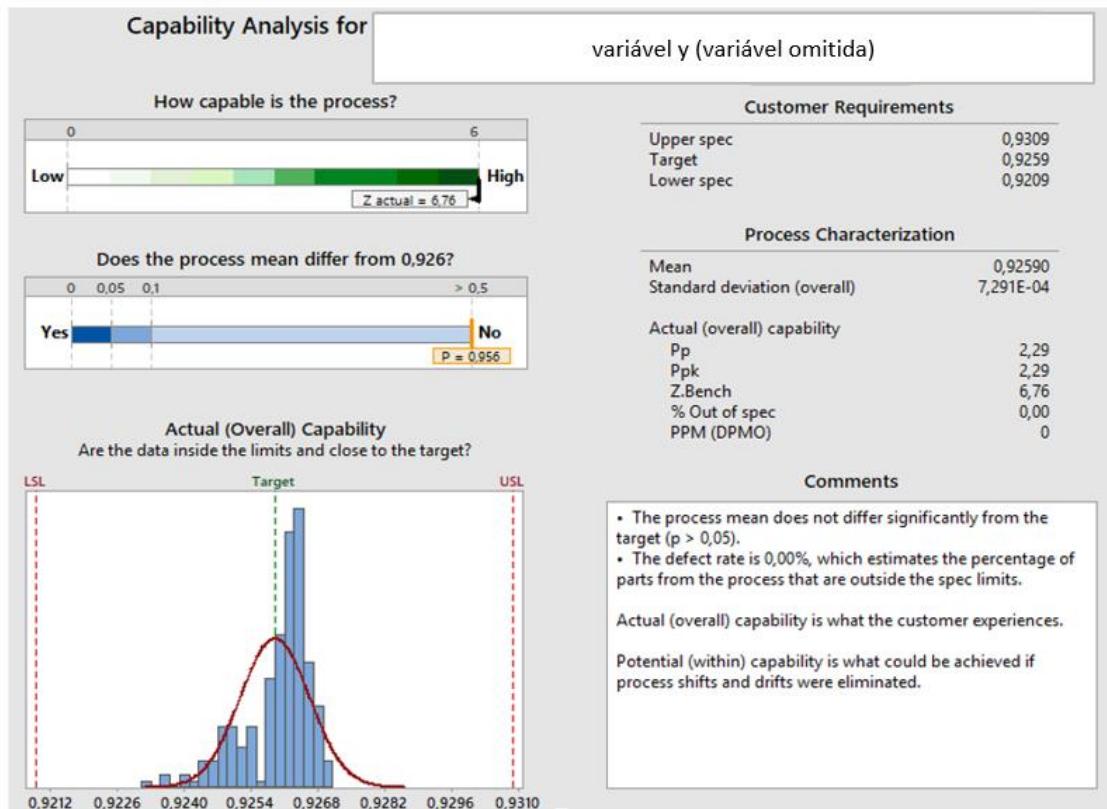
Fonte: Autoria própria

Com a adequação da especificação fica evidente que o desempenho do processo melhora. Sempre que Pp for muito maior que Ppk ainda pode-se adequar melhor os dados para se ter um

processo menos suscetível a erros. É o que ocorre no caso do Aroma 15. Para este aroma, tem-se que os valores de P_p e P_{pk} se tornam iguais quando ocorre ajuste da especificação, ou seja, os dados não poderiam estar mais adequados a especificação do que o ajuste feito realizado (Figura 24).

Com o novo cenário proporcionado pela especificação ajustada tem-se também que o processo tem um desempenho excelente, pois $P_{pk} > 1,33$. Ou. Seja, isso significa que a probabilidade de falha na produção do Aroma 15 com esta especificação ajustada é muito próxima do zero. Isso pode ser lido na janela “Comments” no segundo tópico onde está escrito “*The defect rate is 0,00%, which estimates the percentage of parts from the process that are outside the spec limits*” (em português: “a taxa de defeitos é 0,00%, o qual estima a porcentagem de partes do processo que está fora dos limites de especificação”).

Figura 23 - Performance do processo Aroma 15 com especificação ajustada



Fonte: Autoria própria

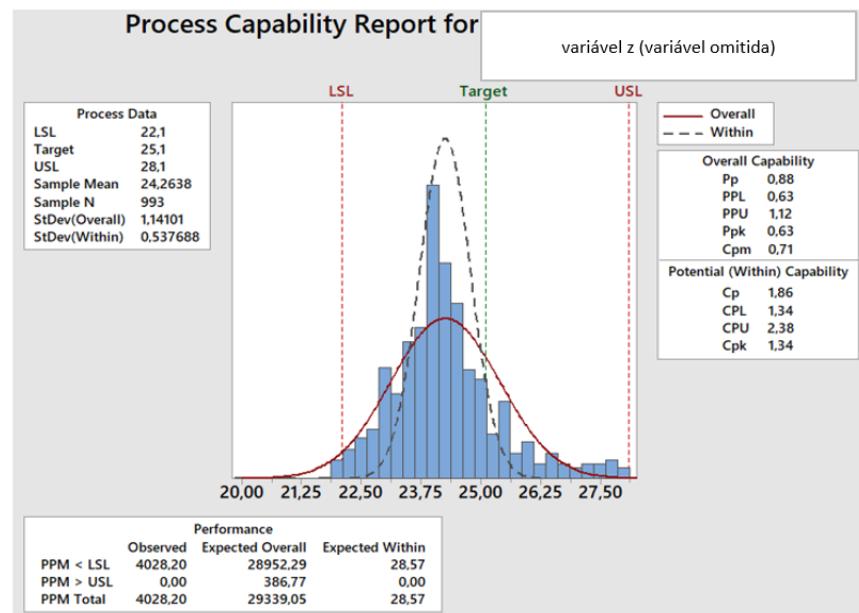
4.4 DETALHAMENTO DOS RESULTADOS DO TIPO CASO 3 (MUITO PREOCUPANTE)

Para o Caso 3, será exemplificado a avaliação do Aroma 30. Caso muito preocupante, quando o processo apresenta um desempenho ruim independente da especificação. Isso ocorre geralmente com dados que não possuem uma distribuição normal e apresentam uma distribuição muito “achatada”, horizontalizada e dispersa. Neste caso, a ação corretiva não é somente uma adequação da especificação, mas requer uma investigação do processo em si, que se trata de uma avaliação dos equipamentos, matérias-primas entre outras variáveis de processo, consiste em uma avaliação mais demorada e empírica, não puramente estatística e matemática.

Além da investigação dos dados do histórico de produção do Aroma 30, foram também investigadas 12 bateladas de produção deste aroma, avaliando o equipamento entre as bateladas, as matérias-primas e outras variáveis de entrada de processos como tempo de processamento e operações unitárias adicionais.

A partir da análise da performance de processos utilizando os dados históricos, pôde-se adequar uma especificação que melhore o desempenho dos dados de processo. Com a especificação vigente, tem-se a seguinte performance de processo ($P_{pk} = 0,63$) (Figura 25).

Figura 24 - Performance do processo Aroma 30 com especificação vigente

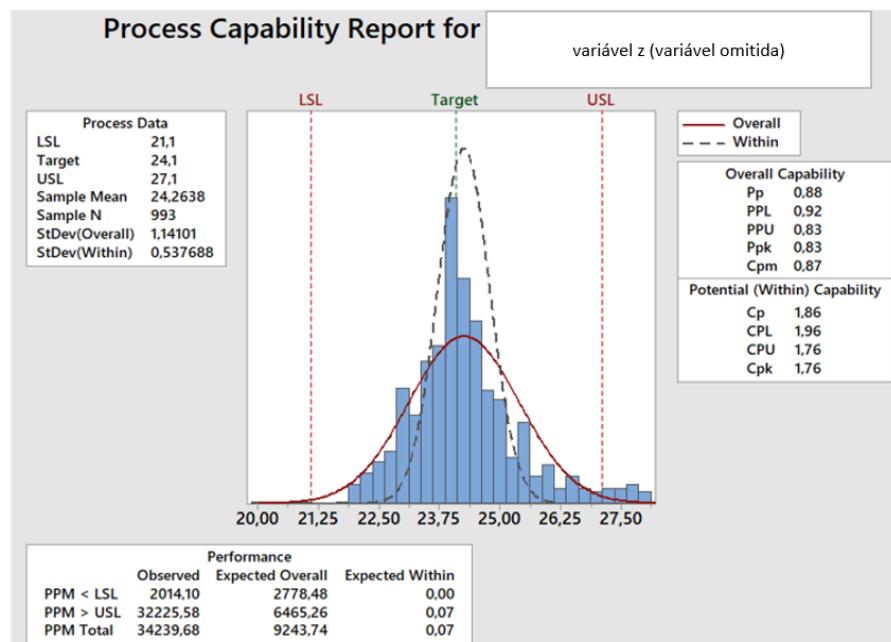


Fonte: Autoria própria

A média do processo é de 24,2638 unidades da variável z. De acordo com a formulação do Aroma 30 o resultado teórico, obtido através de cálculos estequiométricos, deveria ser de 24,1 unidades da variável z. Então, uma alteração do ponto central (*target*) de 25,1 unidades da variável z para 24,1 unidades levará a um impacto positivo para o ajuste dos dados.

Realizando a análise (Figura 26) levando em consideração o ponto central de 24,1 e mantendo a amplitude da especificação de +/- 3 unidades da variável z, tem-se que o valor do índice de performance do processo com relação a especificação do cliente (Ppk) melhora (Ppk = 0,83). Além de se ter a comprovação matemática de que o processo melhora com a alteração da especificação dos dados, pode-se notar graficamente que a frequência dos dados (através do histograma) também se adequa melhor ao novo *target*.

Figura 25 - Performance do processo Aroma 30 com especificação ajustada



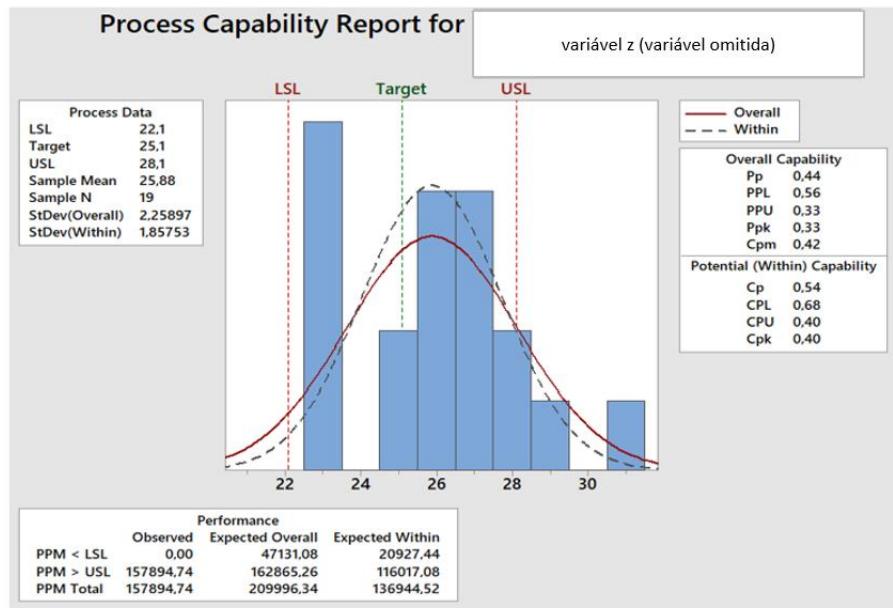
Fonte: Autoria própria

Avaliando-se de maneira mais aprofundada a produção de bateladas individualmente e não apenas os dados históricos, com o intuito de detectar o gargalo de processos que façam a produção deste aroma possuir uma alta variância. Foram acompanhadas 12 bateladas deste aroma, algumas delas as matérias-primas passaram por uma operação de pré-tratamento e outras não, não havia uma instrução de manufatura para os operadores que tornasse mandatório essa

etapa adicional na hora de produzir este aroma, por isso nem todas as bateladas foram feitas com a etapa de pré-tratamento. Está era uma decisão feita pelos operadores sem direcionamento da liderança.

As bateladas as quais não possuem a operação de pré-tratamento da matéria prima apresentou valores muito baixos de desempenho de processo, como no exemplo da batelada representada na Figura 27, com $Cpk = 0,40$ e $Ppk = 0,33$.

Figura 26 - Desempenho de batelada individual Aroma 30 com especificação vigente sem pré-tratamento de matéria-prima

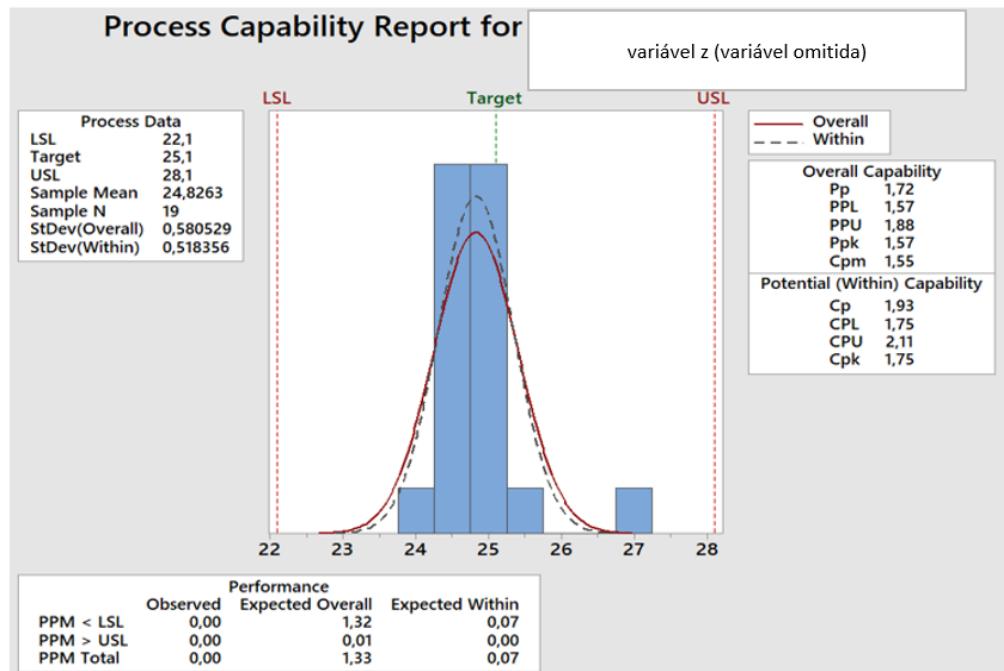


Fonte: Autoria própria

Além da ausência do pré-tratamento padronizado das matérias primas, pôde-se notar que havia formação de incrustação nas paredes do equipamento de processamento. Assim, foram coletadas amostras das incrustações para análise e teve como resultado valores iguais a 50, 60 e 70 unidades da variável z, sendo assim todos os dados acima da especificação do limite superior do cliente. Estes dados foram considerados como eventos especiais (*outliers*) e que causam variações muito grandes nas variáveis de saída do processo. Vale a pena ressaltar que a incrustação foi favorecida pois a empresa não havia feito manutenção adequada no equipamento, inabilitizando um acessório que é fundamental para o funcionamento do equipamento.

As bateladas que passavam pelas operações de tratamento da matéria-prima apresentaram um processo mais centralizado e um processo com performance boa e capabilidade excelente, com melhores valores de índices de performance de processos $Cpk = 1,75$ e $Ppk = 1,57$ (Figura 28):

Figura 27 - Desempenho de batelada individual Aroma 30 com especificação vigente com pré-tratamento de matéria-prima



Fonte: Autoria própria

Quando se avalia um processo sobre controle estatístico, tem-se que Ppk representa performance real do processo e Cpk representa o quanto este processo pode melhorar se remover as variações. Neste cenário, faz-se mais sentido utilizar o parâmetro Cpk uma vez que se observou o processo mais a fundo.

Comparando os dois gráficos (Figura 27 e Figura 28), pode-se concluir que o desempenho do processo quando a matéria passa pela operação de pré-tratamento é muito melhor. Isso fica evidente nos valores de Cpk e Ppk que passaram de ruins (Cpk e Ppk menores que 1) para excelente e bom ($Cpk > 1,66$ e $1,00 < Ppk < 1,33$), respectivamente.

5 CONCLUSÃO

A partir da análise feita para 30 aromas diferentes, pode-se demonstrar que 76,66% deles (23 dos 30 aromas) poderiam ter o desempenho do seu processo melhorado adotando a metodologia de análise estatística: ISO 22514-1 (2014) *Statistical methods in process management — Capability and performance* e apenas reajustando a especificação vigente. É importante ressaltar que os outros 7 aromas, que representam 23,34% da lista, não teriam seu desempenho prejudicado se fosse seguido a metodologia de análise realizada, pois eles já têm sua especificação ajustada com os resultados históricos. Assim, pode-se concluir que a metodologia de análise estatística baseada no padrão seis-sigma auxilia na tomada de decisão pois é possível de se ranquear o processo baseado em um índice matemático e ter um parâmetro lógico para escolher qual processo merece mais atenção e como ele vem se comportando ao longo do tempo.

A metodologia pode ser aplicada de maneira prévia, avaliando os dados históricos como monitoramento dos processos vigentes mais preocupantes. Isso é confirmado quando ela se mostrou eficaz no tratamento do Aroma 30, que pelos resultados históricos tinha um baixo desempenho de produção e passou a ter uma boa performance de processos.

Se faz interessante notar para o Aroma 30 que a avaliação dos dados históricos do processo condiz com o monitoramento do processo vigente. As sugestões de melhoria para o processamento do Aroma 30 fizeram a sua performance melhorar em 475,76% (de $Ppk = 0,33$ para $Ppk = 1,57$) e a capacidade melhorar em 437,5% passando de $Cpk = 0,40$ para $Cpk = 1,75$.

Durante o estudo em campo também foi possível evidenciar que a não utilização de um acessório levava a formação de incrustação no equipamento e quando analisada a amostra da incrustação em laboratório, obteve-se valores similares aos *outliers* presentes no banco de dados históricos das análises do controle de qualidade.

Após a realização deste estudo e a liderança da empresa em questão ser informada, novas práticas foram adotadas pela empresa. Por exemplo, passou a ser mandatório que algumas das matérias passassem pela operação de pré-tratamento, além de ser mandatório a utilização do acessório que evitava a formação de incrustação no equipamento avaliado com o objetivo de se evitar *outliers* nas análises no setor de controle de qualidade.

REFERÊNCIAS

American Chemical Society (banco de dados sobre química). Disponível em: <<https://www.acs.org>>. Acesso em agosto de 2021

Aula Prof. Dr. José Eduardo de Oliveira. Disponível em: <http://www.cempeqc.iq.unesp.br/Jose_Eduardo/Blog2013/Aula_22_03/Extra%C3%A7%C3%A3o%20com%20solventes%20BAC%202007.pdf>. Acesso agosto de 2021

BERGER, Prof. Dr. Ralf Günter. *Flavours and Fragrances Chemistry, Bioprocessing and Sustainability*. Berlin: ©springer- verlag Berlin Heidelberg, 2007. 649 p.

BIGARELLI, Barbara. Brasil domina mercado de perfumes na América Latina. **Época Negócios**, 2017. Disponível em <<https://epocanegocios.globo.com/Empresa/noticia/2017/05/brasil-domina-mercado-de-perfumes-na-america-latina.html>>. Acesso em outubro de 2020.

BIZZO, Humberto R. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 3, p.588- 595, 02 abr. 2009.

BRASIL TEM O MAIOR MERCADO DE PERFUMES DO MUNDO. **Forbes**, novembro 2014. Disponível em <<https://forbes.com.br/negocios/2014/11/brasil-tem-o-maior-mercado-de-perfumes-do-mundo/>>. Acesso em outubro de 2020.

CASSEL, E. et al. *Steam distillation modeling for essential oil extraction process*. **Industrial Crops And Products**, (s.l.), v. 29, n. 1, p.171- 176, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.017>.

CAVANAGH, H. M. A.; WILKINSON, J. M.. *Biological activities of Lavender essential oil*. **Phytotherapy Research**, (s.l.), v. 16, n. 4, p.301- 308, 2002. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ptr.1103>.

CHEMAT, F. et al. *Microwave accelerated steam distillation of essential oil from lavender: A rapid, clean and environmentally friendly approach*. *Analytica Chimica Acta*, (s.l.), v. 555, n. 1, p.157- 160, jan. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2005.08.071>.

CODE OF PRACTICE INTERNATIONAL ORGANIZATION OF THE FLAVOR INDUSTRY. Code of Practice Version 1.3, 2012.

ELGENDY, E. M.; KHAYYAT, S. A.. *Oxidation studies on some natural monoterpenes: citral, pulegone, and camphene. : Citral, pulegone, and camphene*. *Russian Journal Of Organic Chemistry*, (s.l.), v. 44, n. 6, p. 814- 822, jun. 2008. Pleiades Publishing

FRASCARELI, E.c. et al. *Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying*. *Food And Bioproducts Processing*, (s.l.), v. 90, n. 3, p.413- 424, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2011.12.002>.

DOSSIÊ AROMAS. *Food Ingredients Brazil*, 2015. Número 33, V. XVII. Disponível em: <<https://revista-fi.com.br/revista/70/mobile/index.html>>. Acesso em outubro de 2020.

JAFARI, Seid Mahdi et al. *Encapsulation Efficiency of Food Flavours and Oils during Spray Drying*. *Drying Technology*, (s.l.), v. 26, n. 7, p.816- 835, jul. 2008. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07373930802135972>.

LAURINDO, Francine. Mercado de fragrâncias no Brasil, virtudes superam desafios. *Cosmetic Innovation*, janeiro 2018. Disponível em: <<https://cosmeticinnovation.com.br/mercado-de-fragrancias-no-brasil-virtudes-superam-desafios>>. Acesso em outubro de 2020.

MONTGOMERY, Douglas. *Introduction to Statistical Quality Control*. 6. ed. Jefferson City, Arizona: John Wiley & Sons, Inc, 2009. 754 p. University of Arizona.

Portal Action (manual software estatístico), página: análise de capacidade. Disponível em <<http://www.portalaction.com.br/analise-de-capacidade/analise-de-capacidade-do-processo>>. Acesso outubro de 2020.

PYZDEK, Thomas. *The Six Sigma Handbook*. 5. ed. New York: The McGraw- Hill Companies, Inc, 2003. 850 p.

RAO, Jiajia; MCCLEMENTS, David Julian. *Impact of lemon oil composition on formation and stability of model food and beverage emulsions*. *Food Chemistry*, (S.L.), v. 134, n. 2, p. 749-757, set. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.174>.

ROWE, David J.. *Chemistry and Technology of Flavors and Fragrances*. Boca Raton, Fl 33431, USA: Blackwell Publishing Ltd, 2005. 348 p.

SAHRAOUI, Naima et al. *Improved microwave steam distillation apparatus for isolation of essential oils*. *Journal Of Chromatography A*, (s.l.), v. 1210, n. 2, p.229- 233, nov. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2008.09.078>.

SAWAMURA, Masayoshi (ed.). *Citrus Essential Oils: Flavor and Fragrance*. Kochi, Japão: Copyright ©, 2010. 380 p.

SILVA, Luana Nascimento. INDÚSTRIA DE ÓLEOS ESSENCIAIS NO BRASIL: UMA PERSPECTIVA A PARTIR DO PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DAS ESTATÍSTICAS ECONÔMICAS. **Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências (CONAPESC)**, Campina Grande, p. 1-9, out. 2019.

SITE ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDUSTRIA DE HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA E COSMÉTICOS. Disponível em <<https://abihpec.org.br/>>. Acesso em outubro de 2020.

SITE MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Disponível em <[https://www.gov.br/produtividade- e-comercio-exterior/pt-br](https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br)>. Acesso em outubro de 2020.

SPEZIALI, Marcelo Gomes. DE AROMAS E PERFUMES, O MERCADO DA INDÚSTRIA DO “CHEIRO”. **Química Nova**, Porto Alegre, v. 35, n. 4, p.861- 865, 20 jan. 2012.

SOONG, T.T.. *Fundamentals of Probability and Statistics for Engineers*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2004. 408 p.

YANG, Ziming et al. *Development and evaluation of novel flavour microcapsules containing vanilla oil using complex coacervation approach*. **Food Chemistry**, (s.l.), v. 145, p.272- 277, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.074>.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A VERSÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DO ALUNO GUSTAVO JORGE PAULO, ORIENTADO PELO PROF. VALDEIR ARANTES.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Valdeir Arantes".

ASSINATURA DO ORIENTADOR