

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO”**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

ELLEN SOFIA KEPPKE

**ESTUDO DE CASO: Sistema Lean e conceitos elementares de
Físico-química Aplicados em Controle de Qualidade para uma
Fábrica de Cosméticos**

ARARAQUARA

2022

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

ELLEN SOFIA KEPPKE

ESTUDO DE CASO: Sistema Lean e conceitos elementares de Físico-química Aplicados em Controle de Qualidade para uma Fábrica de Cosméticos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Estadual Paulista (UNESP), como exigência parcial para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Ossamu Hojo

ARARAQUARA

2022

ELLEN SOFIA KEPPKE

ESTUDO DE CASO: SISTEMA LEAN E CONCEITOS ELEMENTARES DE FÍSICO-
QUÍMICA APLICADOS EM CONTROLE DE QUALIDADE PARA UMA FÁBRICA DE
COSMÉTICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade
Estadual Paulista (UNESP), como exigência parcial para a
obtenção do título de Bacharela em Engenharia Química.

Araraquara, 12 de janeiro de 2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ossamu Hojo

Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli

Prof. Dr. Elias de Souza Monteiro Filho

Primeiramente, o atual trabalho é dedicado a Deus, pois, sem Ele, eu não estaria aqui.

Em seguida, também dedico à minha família, cujo apoio foi imprescindível para que pudesse me dedicar aos meus estudos e prosseguir minha trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais: Rosane (arquiteta-urbanista e Doutora) e Helmer (engenheiro e Mestre), através dos quais fui incansavelmente incentivada a prosseguir nesta grande área.

Ao meu avô, Ivo, com quem morei durante o desenvolvimento deste trabalho.

À minha superior, que me auxiliou prestativamente.

Àqueles que estiveram ao meu lado, Will e Mimi.

E, portanto, a Deus e ao meu orientador por me guiarem.

“A perfeição não é atingida quando não há mais nada a adicionar, mas quando não há mais nada para tirar.”

“La perfection est atteinte, non pas lorsqu'il n'y a plus rien à ajouter, mais lorsqu'il n'y a plus rien à retirer.”

Antonie de Saint-Exupéry

RESUMO

O *Sistema Lean* é um método extensivamente adotado por empresas que intuem potencializar os lucros sem a necessidade de modificar os preços de venda. De tal forma, o meio necessário para atingir este objetivo provém da redução dos custos desnecessários à produção, os quais torna-se proposta de interesse para a fábrica de cosméticos, alvo do estudo de caso deste trabalho. Neste contexto, levantou-se a hipótese do desperdício realizado de maneira mais evidente: o processamento excessivo, em que se parte do desdobramento das diretrizes do setor de controle de qualidade. Por isso, foi necessário avaliar os padrões atuais e confirmar se os experimentos físico-químicos permitiriam extrair valores mais precisos para uma determinada colônia. A partir da extração das informações, confirmou-se o efeito da temperatura na densidade das colônias, que impactaria negativamente os rendimentos em uma grande-escala. Logo, foram propostos novos valores de padrões para o controle de qualidade, visando-se melhor eficiência produtiva.

Palavras-chave: Sistema Lean, Propriedades físico-químicas, Cosméticos, Controle de qualidade.

ABSTRACT

The Lean System is a method widely adopted by companies that intend to maximize profits without the need to change sales prices. In such a way, the means necessary to reach this objective comes from the reduction of unnecessary production costs, which becomes a proposal of interest for the cosmetics factory, target of the case study of this work. In this context, the hypothesis of waste carried out in a more evident way was raised: excessive processing, which starts with the unfolding of the guidelines of the quality control sector. Therefore, it was necessary to evaluate current standards and confirm whether physical-chemical experiments would allow extracting more accurate values for a given colony. From the extraction of information, the effect of temperature on colony density was confirmed, which would negatively impact yields on a large scale. Therefore, new standard values for quality control were proposed, aiming at better production efficiency.

Keywords: Lean System, Physical-chemical properties, Cosmetics, Quality control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Monitoramento da temperatura de São Paulo em 2021	9
Figura 2 - Curva de Distribuição Gaussiana.....	15
Figura 3 - Curva de Gauss em condições normais	16
Figura 4 - Atividades Lean	20
Figura 5 - Processo de eliminação de desperdícios para redução de custos.....	23
Figura 6 - Balança Analítica.....	30
Figura 7 - Termômetro analógico.....	31
Figura 8 - Picnômetro de vidro.....	32
Figura 9 - Diagrama de causa e efeito da calibração do picnômetro.....	33
Figura 10 - Diagrama de causa e efeito da densidade experimental	34
Figura 11 - Densidade absoluta da água em relação à temperatura.....	37
Figura 12 - Ferramenta de visualização para envase.....	46
Figura 13 - Gráfico: densidade em função da temperatura, Tanque 1, lote 17	48
Figura 14 - Gráfico: densidade em função da temperatura, Tanque 2, lote 17	50
Figura 15 - Gráfico: densidade em função da temperatura, Tanque 3, lote 17	52
Figura 16 - Gráfico: densidade em função da temperatura, Tanque 4, lote 17	54
Figura 17 - Densidade em função da temperatura média para o lote 17	55
Figura 18 - Distribuição normal a 15°C	56
Figura 19 - Distribuição normal a 20°C	57
Figura 20 – Distribuição normal a 25°C.....	58
Figura 21 - Distribuição normal 30°C	59
Figura 22 - Densidade de colônia em função da temperatura	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes Econômicas do Brasil	3
Tabela 2 - Calibração do picnômetro de vidro: vazio	35
Tabela 3 - Calibração do picnômetro de vidro: cheio	36
Tabela 4 - Calibração do picnômetro de vidro: água destilada	37
Tabela 5 - Calibração do picnômetro de vidro: temperatura de cada medida	37
Tabela 6 – Calibração do picnômetro de vidro: densidade absoluta da água destilada.....	38
Tabela 7 - Calibração do picnômetro de vidro	39
Tabela 8 - Massa de frasco por modelo de colônia	43
Tabela 9 - Massa de tampa por modelo de colônia	44
Tabela 10 - Massa de embalagem por modelo de colônia.....	44
Tabela 11 - Medidas 1, 2 e 3 do Tanque 1, lote 17	47
Tabela 12 - Média do Tanque 1, lote 17.....	48
Tabela 13 - Medidas 1, 2 e 3 do Tanque 2, lote 17	49
Tabela 14 - Média do Tanque 2, lote 17.....	50
Tabela 15 - Medidas 1, 2 e 3 do Tanque 3, lote 17	51
Tabela 16 - Média do Tanque 3, lote 17.....	52
Tabela 17 - Medidas 1, 2 e 3 do Tanque 4, lote 17	53
Tabela 18 - Média do Tanque 4, lote 17.....	53
Tabela 19 - Média do lote 17 de colônia	54
Tabela 20 - Distribuição normal a 15°C.....	56
Tabela 21 - Distribuição normal a 20°C.....	57
Tabela 22 - Distribuição normal a 25°C.....	58
Tabela 23 - Distribuição normal a 30°C.....	59
Tabela 24 - Densidade adotando margem de segurança.....	60
Tabela 25 - Densidades para faixas de temperatura de colônia.....	61
Tabela 26 - Padronização de massas de produto acabado para colônias.....	62
Tabela 27 - Produção de colônia 500 mL A, 27 de set.....	63
Tabela 28 - Produção de colônia 500 mL A, 28 de set.....	64
Tabela 29 - Desperdício de produção nos dias 27 e 28 de setembro.....	65
Tabela 30 - Tabela de massas para densidade igual a 0,97 g/cm ³	67
Tabela 31 - Tabela de massas para densidade variável	67
Tabela 32 - Produção mensal média de colônias.....	67

Tabela 33 - Massa de colônia envasada ao mês para densidade igual a 0,97 g/mL.....	68
Tabela 34 - Massa de colônia envasada ao mês para densidade variável.....	68
Tabela 35 - Economia de colônia com base em temperatura	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
TPS	Toyota Production System
PQCDSM	Productivity, Quality, Cost, Delivery Time, Safety, Morale
JIT	Just-in-time

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Média Aritmética.....	13
Equação 2 - Desvio da média	13
Equação 3 - Desvio-padrão populacional.....	13
Equação 4 – Desvio-padrão amostral	13
Equação 5 – Variância da média aritmética	13
Equação 6 - Média de densidade de probabilidade	14
Equação 7 - Variância da densidade de probabilidade	14
Equação 8 - Função densidade de probabilidade de distribuição gaussiana	15
Equação 9 - Desvio-padrão da distribuição gaussiana	15
Equação 10 - Média distribuição gaussiana	15
Equação 11 - Desvio-padrão de uma grandeza indireta	17
Equação 12 - Massa de produto acabado	18
Equação 13 - Lucro.....	19
Equação 14 - Lead Time.....	21
Equação 15 – Incerteza para a balança analítica	30
Equação 16 - Valor de uma amostra em temperatura considerando incerteza.....	31
Equação 17 - capacidade mássica do picnômetro para amostra i.....	35
Equação 18 - capacidade volumétrica do picnômetro para amostra i	35
Equação 19 - Média de massa do picnômetro cheio para uma temperatura.....	41
Equação 20 - Incerteza da média do picnômetro cheio	41
Equação 21 - Média da massa de líquido	41
Equação 22 - Incerteza da média da massa de líquido	41
Equação 23 - Média da densidade de líquido para uma temperatura	42
Equação 24 - Incerteza da média da densidade de líquido	42
Equação 25 - Densidade em função da temperatura.....	42
Equação 26 - Coeficiente angular.....	42
Equação 27 - Coeficiente linear	42
Equação 28 - Volume de produto acabado (indireto).....	45
Equação 29 - Densidade em função da temperatura para o tanque 1	48
Equação 30 - Densidade em função da temperatura para o tanque 2	51
Equação 31 - Densidade em função da temperatura para o tanque 3	52
Equação 32 - Densidade em função da temperatura para o tanque 4	54

Equação 33 - Densidade em função da temperatura, lote 17.....	55
Equação 34 - Densidade em função da temperatura adotando margem de segurança	61

LISTA DE SÍMBOLOS

σ	desvio-padrão populacional
ρ	densidade absoluta ou massa específica
μ	média de densidade populacional
s	desvio-padrão amostral
m	massa
v	volume
T	temperatura
a	coeficiente angular
b	coeficiente linear

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1. REVISÃO DE LITERATURA	2
2. APRESENTAÇÃO DO CASO.....	3
2.1 HISTÓRIA	3
2.2 SEGMENTO E MERCADO	3
2.3 PRODUÇÃO	4
2.3.1 Manipulação de matéria-prima para transformação em produto	5
2.3.2 Aplicação de rótulo nos frascos	5
2.3.3 Envase de produto no frasco	5
2.3.4 Selagem e impressão de lote	6
2.3.5 Empacotamento em dúzias	6
2.3.6 Encaixotamento em caixas-mãe.....	6
2.3.7 Armazenamento no estoque.....	6
2.4 LOGÍSTICA	7
2.5 CONTROLE DE QUALIDADE	7
2.6 PROBLEMÁTICA	8
3 PROPOSIÇÃO	8
3.1 CONCEITOS BÁSICOS DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	8
3.2 METROLOGIA.....	10
3.2.1 Conceitos Fundamentais da Metrologia	10
3.2.2 Incerteza de medição.....	12
3.2.3 Estatística aplicada à metrologia.....	12
3.2.4 Incerteza em medições diretas	16
3.2.5 Incerteza em medições indiretas	17
3.2.6 Aplicação da metrologia	17
3.2.6.1 Definição de padrões de qualidade.....	17

3.2.6.2	Controle de rendimentos	18
3.2.6.3	Limitações metrológicas	19
3.3	SISTEMA LEAN DE PRODUÇÃO	19
3.3.1	Muda	21
3.3.2	Mura.....	24
3.3.3	Muri	24
3.3.4	Estabilidade.....	24
3.3.4.1	Sistema 5S	24
3.3.5	Foco no cliente.....	26
3.3.6	Just-in-time	27
3.3.7	Padronização.....	28
3.4	DIAGNÓSTICO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIAS PARA O ESTUDO DE CASO	28
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1	MEDIÇÃO DE MASSA	30
4.1.1	Balança analítica	30
4.2	MEDIÇÃO DE TEMPERATURA.....	31
4.2.1	Termômetro analógico	31
4.3	PICNÔMETRO	32
4.3.1	Picnômetro de vidro.....	32
4.3.1.1	Calibração do picnômetro de vidro	32
4.4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO DE DENSIDADES	40
4.4.1	Densidade em função da temperatura para colônias.....	40
4.5	PROCEDIMENTO PARA ACOMPANHAMENTO E MELHORIA DE PERFORMANCE PRODUTIVA	43
4.6	PROCEDIMENTO PARA A ELABORAÇÃO DE FERRAMENTAS QUE AUXILIAM A PRODUÇÃO	45
5	RESULTADOS.....	47

5.1	DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DA COLÔNIA.....	47
5.2	ACOMPANHAMENTO E MELHORIA DE PERFORMANCE PRODUTIVA.....	63
6	DISCUSSÃO.....	66
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
	REFERÊNCIAS	72

INTRODUÇÃO

A adoção do *Sistema Lean*, de produção, é um meio em que muitas indústrias buscam para minimizar desperdícios, que, como resultado, pode potencializar seus lucros. Porém, ao estabelecer este sistema, torna-se necessário estudar, investir e realizar específicos esforços, os quais pode tornar-se desafiador para fábricas mais antigas.

A fábrica de cosméticos, fundada no século XX, foi escolhida como principal indústria deste estudo. Neste período, não era comum a utilização do Sistema Lean, no entanto, atualmente existe a necessidade da busca por meios que desenvolvam a performance produtiva e, também, a de rendimentos.

A fim de seguir a premissa fundamental do sistema, é necessário diagnosticar, proceder e, se possível, extinguir as formas de desperdício – desejando, a partir de tais pressupostos, reduzir gastos desnecessários que afetam os lucros. Segundo os gestores da empresa, a forma de desperdício mais evidente é gerada pelo excesso de processamento, que é atribuída ao envase excessivo de produtos, para além do necessário, sendo essa a primeira hipótese da pesquisa.

A segunda hipótese, atrelada à primeira, é a de que a densidade de cosméticos é consideravelmente variável em função da temperatura, uma propriedade físico-química. Sendo assim, o atual padrão, definido pelo controle de qualidade, pode ser substituído para valores mais precisos através de procedimentos metrológicos.

A terceira hipótese, portanto, se define com a definição de um novo padrão, os quais existe a possibilidade da melhoria de produção, em finalidade de reduzir o desperdício, trazendo-se similaridades aos fundamentos do Sistema Lean.

Com estas concepções, para que estas hipóteses sejam confirmadas, ou descartadas, foram realizados estudos experimentais da expansão e contração de um produto cosmético: a colônia. Este é o produto mais vendido pela empresa, em função da temperatura, bem como seus possíveis desdobramentos na performance e rendimento.

1 REVISÃO DE LITERATURA

A aplicação do método *Lean*, para a indústria cosmética, foi *corpus* de outras publicações, os quais existiu a análise de indústrias específicas e pré-selecionadas. A exemplo destas pesquisas, Washington Gonçalves¹ elaborou uma análise com base em um caso real da empresa BIOCAP Laboratórios. De tal forma, seu objeto central de pesquisa foi a melhoria na performance de mão-de-obra e no *lead time*, cujo resultado foi a redução de custos.

Outro estudo relevante, pelas mesmas vias, foi realizado por Mariana Bahury e Paula Beer², os quais utilizou-se o método de estudo de caso para uma empresa de grande porte, cujo nome foi omitido, com uma produção volumosa e parcialmente automatizada. Sendo assim, propôs redução de desperdícios e aumento de performance em uma linha de produção.

Os trabalhos que possuem o corpus citado são, principalmente, evidenciados com os objetivos de ressaltar o aperfeiçoamento de indústrias de médio a grande porte, cuja produção é bem consolidada e consideravelmente automatizada. Sendo assim, concentraram-se, essencialmente, na gestão da produção.

Por sua vez, o objetivo geral de *Estudo de Caso: Sistema Lean e Conceitos Elementares de Físico-Química Aplicados em Controle de Qualidade para uma Fábrica de Cosméticos*, evidencia-se na análise de uma empresa de pequeno porte, com a produção voltada a automações manuais ou semiautomáticas. Além disso, o estudo está principalmente voltado ao setor de controle de qualidade e determinação de padrões.

¹ Engenheiro de produção - os quais realizou a publicação da monografia denominada *lean manufacturing como ferramenta para melhoria da eficiência e redução de custos em uma indústria de cosméticos*, pelo centro universitário alves faria (2021?), disponível em: < [lean manufacturing como ferramenta para melhoria da eficiência e redução de custos em uma indústria de cosméticos \(uol.com.br\)](http://uol.com.br)>.

² engenheiras de produção – em que realizaram a pesquisa denominada *uma aplicação do sistema lean de produção à indústria de cosméticos: o caso da linha de produção de coloração para cabelo*, pela escola politécnica da universidade federal do rio de janeiro (2016), disponível em: < [monopoli10015803.pdf \(ufrj.br\)](http://monopoli10015803.pdf(ufrj.br))>.

2 APRESENTAÇÃO DO CASO

2.1 HISTÓRIA

A fábrica de cosméticos escolhida como base para este trabalho, foi fundada na década de 30, com o propósito de criar e vender produtos de beleza por preços acessíveis. Esta empresa de pequeno porte, localiza-se na região metropolitana de São Paulo. As atividades de negócio, da empresa, são dadas pela fabricação de cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal, possuindo-se como objetivo principal a revenda para o comércio atacadista do segmento.

2.2 SEGMENTO E MERCADO

Os produtos manufaturados pela Fábrica possuem natureza proveniente do escopo de higiene, beleza e perfumaria, divididos em duas classificações: uso adulto e uso infantil, cada um adequado segundo a legislação, para os públicos destinados (BRASIL, 2018).

Os cosméticos de uso adulto que são produzidos, caracterizam-se por talcos para corpo e pés, deo-colônias, óleos capilares, esfoliantes, cremes hidratantes, creme de cutículas e sabonetes líquidos. Os cosméticos de uso infantil, portanto, são talcos para corpo, colônias com álcool, colônias sem álcool, shampoos, condicionadores, óleos infantis e cremes de prevenção de assaduras.

Todos os itens vendidos pela empresa têm como objetivo principal atingir um consumidor final das classes C e D, c.f. FGV (2014), cuja renda média está contida na Tabela 1:

Tabela 1 - Classes Econômicas do Brasil

Classes Econômicas*	Limite Inferior (R\$)	Limite Superior (R\$)
E	0	1.254
D	1.255	2.004
C	2.005	8.640
B	8.641	11.261
A	11.262	

*Classes econômicas familiares com base nos rendimentos per capita para valores de janeiro de 2014.

Fonte: FGV Social [adaptado], Centro de Políticas Sociais. Disponível em: <https://cps.fgv.br/qual-faixa-de-renda-familiar-das-classes>. Acesso em: 10 ago. 2022.

De tal forma, a competitividade é ressaltada por meio de preços mais acessíveis, sendo interessante para o consumidor. Além do foco em classes C e D, em específico, é importante ressaltar como o mercado foi impactado nos últimos anos. Segundo pesquisa feita em 2022, pela *Confederação Nacional do Comércio de Bens, Serviços e Turismo (CNC)*, o aumento da inflação acarretou a perda do poder de compra de 91% das profissões (CNN Brasil, 2022).

Este cenário de inflação, implica também no aumento das despesas diretas e indiretas, as quais afetam consideravelmente o custo. Com isso, a margem de lucro diminui, caso os preços sejam mantidos para continuar atendendo ao consumidor.

2.3 PRODUÇÃO

A manufatura dos produtos se realiza de maneira descontínua (*batch*), os quais permeiam-se em tambores com capacidade de aproximadamente 340 kg para produtos cremosos e 320 L para produtos líquidos, com exceção dos tanques de colônia, que comportam 2000 L de produtos. A demanda de produção é pautada, principalmente, por meio de pedidos de clientes e/ou estoques baixos. De tal forma, a produção da fábrica gira em torno de 13.500 a 14.000 dúzias, ao mês.

Existem diferentes exigências e etapas de produção dependendo do produto, mas, de uma forma geral, os seguintes processamentos são realizados:

- I. Manipulação de matéria-prima para transformação em produto;
- II. Aplicação de rótulo nos frascos;
- III. Envase de produto no frasco;
- IV. Selagem e impressão de lote;
- V. Empacotamento em dúzias;
- VI. Encaixotamento em caixas-mãe;
- VII. Armazenamento no estoque.

Para que a etapa 3 esteja iniciada, tanto a 1 quanto a 2 devem estar finalizadas, sendo que ambas podem ser elaboradas de maneira simultânea. Atualmente, as etapas 1, 3, 4, 5, 6 e 7 são feitas por mão-de-obra – unicamente, ou parcialmente humana, enquanto a etapa 3 é tanto feita por pessoas, quanto por máquinas (dependendo do produto e disponibilidade da máquina).

2.3.1 Manipulação de matéria-prima para transformação em produto

A manipulação é feita em uma ala separada dentro da fábrica, os quais as matérias-primas são pesadas e inseridas dentro de cada tambor permeado por dois manipuladores responsáveis pela função. Nesta etapa, os ingredientes são transformados em produto pelo processamento, tanto motorizado (bombas e agitadores), como por agitação com pás (por parte dos colaboradores).

Certos produtos são rapidamente finalizados e, com isso, já podem ser encaminhados para o envase, outros precisam passar por bombas, ou agitadores para atingir homogeneidade, ou mesmo, aguardar seu esfriamento. Dependendo do item a ser produzido, se faz necessário o empenho de ambos os manipuladores, porém, existem outros casos que pode existir atuações simultâneas em produtos diferentes.

2.3.2 Aplicação de rótulo nos frascos

Durante a etapa de aplicação de rótulo, os frascos são separados, selecionados (para descarte de itens defeituosos), rotulados e ensacados para armazenamento. No caso de produtos com rótulos adesivados, parte da rotulagem é realizada por uma máquina rotuladora, em que não contempla todos os frascos, por conta das dimensões de fábrica. Logo, os frascos que não entram na rotuladora são adesivados manualmente por colaboradoras em mesas.

Para rótulos do tipo *sleeve*, é necessário a aplicação manual no frasco e, em seguida, passar pelo túnel de calor. Após os frascos serem devidamente rotulados, são postos em sacos e armazenados no mezanino da fábrica, lugar que permanecerão até o momento de envase.

2.3.3 Envase de produto no frasco

O envase dos produtos ocorre dentro da fábrica, em uma ala separada, para evitar contaminações no lugar em que são dispostas as linhas para o envase. Cada linha possui uma gaiola, ou caixa de frascos vazios ao lado da mesa, em que a colaboradora responsável pelo envase permanece. As máquinas de envase variam de 1 a 3 bicos, os quais cada frasco vazio é destinado. Em seguida, a colaboradora pressiona um pedal e preenche o recipiente até, visualmente, atingir a quantidade definida. Após o frasco ser preenchido, a responsável dispõe ao lado e passa para o processo de selagem.

2.3.4 Selagem e impressão de lote

Os frascos preenchidos, então, são selados; seja por tampa rosqueada, tampa batoque ou por máquina térmica. Nesta etapa, a mesma colaboradora que põe e fecha a tampa é, também, responsável por dispor os produtos na esteira. Enquanto o frasco passa pela esteira, uma *inkjet* imprime o lote e a validade, por fim, obtém-se o produto acabado.

2.3.5 Empacotamento em dúzias

Com exceção dos produtos que são dispostos em cartuchos, o produto acabado passa pela esteira de impressão de lote e termina em uma mesa, em que o colaborador coleta os frascos. Estes frascos são separados em dúzias e empacotados em caixas de papelão, ou termoplásticos.

As dúzias em termoplástico precisam também passar por um processamento posterior em túneis de calor, nos quais o plástico encolhe e protege os frascos. Neste procedimento, é necessário que ao menos dois colaboradores fiquem atuando – um na alimentação da máquina, e outro na saída. Uma vez que os produtos estão devidamente organizados em dúzias, são destinados para o estoque, ou para o encaixotamento em caixas-mãe.

2.3.6 Encaixotamento em caixas-mãe

Alguns produtos passam pelo encaixotamento em caixas-mãe, em que as dúzias são guardadas em caixas maiores e, posteriormente, destinadas ao estoque.

2.3.7 Armazenamento no estoque

Após os produtos acabados serem separados conforme a necessidade, um ou mais colaboradores os deslocam até as prateleiras do estoque, em que ficarão aguardando até o envio ao comprador.

2.4 LOGÍSTICA

Além da produção, existem outras atividades que fazem parte da lógica da empresa, que podem não estar diretamente ligadas ao produto, mas determinam seu valor e tempo embutido. Quando um pedido é feito, sobre determinado produto - antes que seja produzido, é necessário que as matérias-primas sejam compradas. Para isso, um pedido é solicitado para empresas fornecedoras, as quais posteriormente confirmam e enviam para expedição.

Em seguida, realiza-se o transporte do produto e, portanto, a espera até a chegada dos materiais, além dos gastos com frete, bem como a análise de qualidade prévia para controle. A partir de tais questões o produto pode seguir para a manipulação. Também existe a logística do produto vendido, o qual é faturado e, além disso, possui o seu resguardo na fábrica até o meio de transporte solicitado coletá-lo e transportá-lo.

Outros fatores que influenciam na agilidade do início da produção são, também, a escassez de matéria-prima, seja pela falta em estoque, ou por disponibilidade no mercado, bem como pelos intervalos longos de compra, para não existir maior recurso monetário nos custos mensais.

2.5 CONTROLE DE QUALIDADE

O controle de qualidade parte de qualquer indústria como aspecto imprescindível, de tal forma, este departamento é responsável por garantir que o produto, ao chegar ao consumidor final, esteja em plenas condições de uso. Cabe as atribuições do laboratório de controle de qualidade a realização de análises físico-químicas das matérias-primas, produto inacabado e produto acabado. Deste modo, todo o processo passa por avaliações criteriosas para acompanhar os níveis de qualidade. Porém, quem define os padrões de qualidade? Sabe-se que qualquer produto de consumo humano deve ser apto e seguro ao uso, por isso, a legislação sanitária brasileira impõe diretrizes com exigências primordiais sem o seu descarte (Pinto, Alpiovezza, & Righetti, 2012).

De tal forma, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) atua no segmento de cosméticos para regulamentação da indústria, a fim de garantir a segurança dos produtos; logo, cabe à fábrica estar dentro das diretrizes estabelecidas pela agência. Como consequência, a política de Boas Práticas de Fabricação (BPF), de uma empresa, deve estar alinhada com a legislação durante todo o processo produtivo.

Além da garantia da qualidade do produto ao consumidor, o departamento de controle de qualidade também é responsável por acompanhar e manter o processo fluido e eficiente, reduzindo desperdício e falhas. Em outras palavras, também é importante visar o aspecto econômico (Pinto, Alpiovezza, & Righetti, 2012).

2.6 PROBLEMÁTICA

Segundo os gestores da empresa, levantou-se a hipótese de que os cosméticos manufaturados possuíam excesso de produto em seus frascos, questão que poderia justificar os baixos rendimentos. Por isso, iniciou-se um processo investigativo para diagnosticar as possíveis causas e consequências desta observação, as quais serão abordadas nos tópicos seguintes.

3 PROPOSIÇÃO

Com o intuito de fomentar melhorias na cadeia produtiva, e eficiência da fábrica, propõe-se implementar aprimoramentos que se partem das premissas do Sistema *Lean* de Produção. De tal forma, utilizou-se conhecimentos básicos das propriedades físico-químicas dos produtos como peça central para atingir o objetivo proposto.

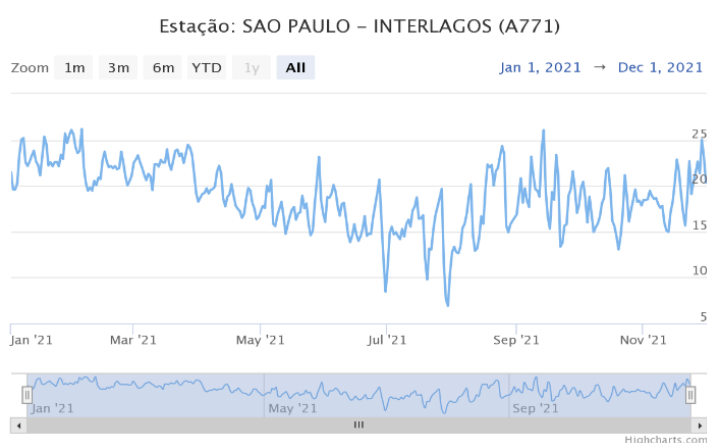
Todavia, compreende-se que aplicar o Sistema Lean, torna-se um projeto extenso, complexo, custoso e, em certos pontos, inviável, considerando as circunstâncias estabelecidas. Por isso, é papel da pesquisa realizar a identificação de espaços para melhorias, a partir dos dados experimentais coletados. Além disso, o primeiro passo é realizar a discussão sobre o que é, e como funciona um Sistema *Lean* – estes aspectos facilitam a troca de ideias e abordagens, quando funcionários e gestores possuem compreensão sobre o assunto.

3.1 CONCEITOS BÁSICOS DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

As propriedades físico-químicas são elementos fundamentais no controle de qualidade, visto que o comportamento dos cosméticos é passível de variações provocadas pelas mudanças nas condições dos sistemas. Considerando uma colônia, sabe-se que é um produto líquido, composto por uma mistura de ingredientes como essência, corantes, conservantes, solubilizantes e solventes, ou seja, seu comportamento pode ser compreendido a partir das propriedades do estado líquido.

O estado líquido, assim como o gasoso, é consideravelmente influenciado por mudanças de temperatura. Isso ocorre como consequência do efeito do grau de agitação na proximidade entre as moléculas. Quanto mais agitadas as moléculas estão, maior será a distância entre elas. Porém, o quão expressivo é o intervalo que se está lidando? Considerando que a fábrica está localizada em São Paulo, analisou-se o monitoramento da temperatura realizado pelo INMET (Instituto Nacional de Metrologia). Vide a Figura 1:

Figura 1 – Monitoramento da temperatura de São Paulo em 2021



Fonte: (INMETRO, 2021). Disponível em:
<<https://tempo.inmet.gov.br/GraficosAnuais/A001>>. Acesso em: 9 de nov. de 2022.

Como aponta a imagem, a temperatura nos meses frios chega a atingir temperaturas inferiores a 10°C, enquanto nos meses quentes, ultrapassa a marca de 25°C. De tal forma, conclui-se que o intervalo é expressivo e pode, de fato, afetar as propriedades físico-químicas dos produtos.

Vale lembrar que, não necessariamente, todo e qualquer cosmético é sujeito a variações consideráveis conforme a temperatura, mas, aqueles cuja composição é majoritariamente composta por água e álcool, são. No caso das colônias, sua fórmula contém mais de 50% de água em seu volume, por isso, são dignas de observação.

Entretanto, quais são as consequências práticas do fenômeno de expansão das colônias? Partindo do princípio de que líquidos se contraem com a redução de temperatura, e expandem com o aumento, o espaço ocupado por uma mesma quantidade de matéria (volume), é variável em função das condições atmosféricas. De tal forma, implica-se que a densidade de colônias não é constante.

Se o controle de qualidade de um produto é realizado através da medição indireta do volume pela pesagem, deve-se saber de que os valores são sujeitos a variações. Porém, como é possível pressupor a expressividade do efeito da temperatura na densidade de colônias? É possível através da extração de dados experimentais, os quais podem ser obtidos seguindo as premissas da metrologia.

3.2 METROLOGIA

O conceito de metrologia é definido, como: “Ciência da medição e suas aplicações. [...] A metrologia engloba todos os aspectos teóricos e práticos da medição, qualquer que seja a incerteza de medição e o campo de aplicação” (Inmetro, 2012). De tal forma, este estudo de caso visa utilizar da metrologia como ferramenta adjacente à produção industrial, através das medições para controle de qualidade.

Todavia, como a metrologia pode auxiliar um Sistema produtivo Lean? Resumidamente, tal sistema busca a otimização de uma produção para reduzir os custos operacionais. Deste modo, o acompanhamento constante de dados, como: temperatura, massa, densidade, volume, ou demais aplicações, serve como meio de evitar desperdícios durante a manufatura consequente de imprecisões e considerações inexatas.

3.2.1 Conceitos Fundamentais da Metrologia

Para que as medições possam ser tomadas, é necessário definir os agentes metrológicos (Mendes & Rosário, 2020):

Amostra: conjunto de elementos de um grupo a ser medido;

Analista: pessoa responsável pela atividade de medição;

Condições ambientais: fator que – conforme for a amostra – exerce papel imprescindível na qualidade e confiabilidade de uma medição;

Instrumento de medição: ferramenta que permite o analista mensurar a amostra de acordo com as condições ambientais;

Rastreabilidade metrológica: presença de uma cadeia de referências que permitam definir a incerteza embutida na medição;

Portanto, estes são os elementos primordiais para a viabilidade de uma medição confiável.

A metrologia também compreende alguns conceitos primordiais que devem ser conhecidos pelo analista:

Intervalo de indicação: “Conjunto de valores compreendidos entre duas indicações extremas” (Inmetro, 2012).

Intervalo de nominal de indicações:

Conjunto de valores compreendidos entre duas indicações extremas arredondadas ou aproximadas, obtido com um posicionamento particular dos comandos dum instrumento de medição ou sistema de medição e utilizado para designar este posicionamento (Inmetro, 2012).

Intervalo de medição:

Conjunto de valores de grandezas da mesma natureza que pode ser medido por um dado instrumento de medição ou sistema de medição com incerteza de medição instrumental especificada, sob condições determinadas (Inmetro, 2012)

Amplitude de medição: “Conjunto de valores de grandezas da mesma natureza que pode ser medido por um dado” (Inmetro, 2012).

Menor divisão: “diferença entre os valores da escala correspondentes a duas marcas sucessivas” (Mendes & Rosário, 2020).

Resolução de leitura: “Menor variação da grandeza medida que causa uma variação perceptível na indicação correspondente” (Inmetro, 2012).

Sensibilidade de um sistema de medição: “Quociente entre a variação dum indicação dum sistema de medição e a variação correspondente do valor da grandeza medida” (Inmetro, 2012).

Estabilidade de um instrumento de medição: “Propriedade dum instrumento de medição segundo a qual este mantém as suas propriedades metrológicas constantes ao longo do tempo” (Inmetro, 2012).

Erro de medição: “Diferença entre o valor medido dum grandeza e um valor de referência” (Inmetro, 2012).

Exatidão de medição: “Grau de concordância entre um valor medido e um valor verdadeiro dum mensurando” (Inmetro, 2012).

Precisão de medição:

Grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidos por medições repetidas, no mesmo objeto ou em objetos similares, sob condições especificadas (Inmetro, 2012).

Classe de exatidão:

Classe de instrumentos de medição ou de sistemas de medição que satisfazem requisitos metrológicos estabelecidos, destinados a manter os erros de medição ou as incertezas de medição instrumentais dentro de limites especificados, sob condições de funcionamento especificadas (Inmetro, 2012).

Repetibilidade de medição: “Precisão de medição sob um conjunto de condições de repetibilidade” (Inmetro, 2012). Considerando as condições de repetibilidade referentes a repetição de um experimento para amostras iguais ou similares, feitas pelo mesmo analista, e seguindo o mesmo procedimento e método.

Reprodutibilidade de medição: “Precisão de medição conforme um conjunto de condições de reprodutibilidade” (Inmetro, 2012). Em que as condições de reprodutibilidade da reprodução de um experimento, para amostras iguais ou similares, feitas por diferentes analistas e locais de análise.

3.2.2 Incerteza de medição

A incerteza de medição pode ser compreendida, como: “Parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas” (Inmetro, 2012).

Não existe medição alguma que seja isenta de incertezas, por isso, em casos o qual a precisão é de grande relevância, deve-se conhecer as fontes de possíveis erros nos dados extraídos. De tal forma, é papel do analista conhecer a incerteza dos instrumentos utilizados. Quando existe a função a partir de instrumentos analógicos, por exemplo, é inevitável que a leitura realizada pelo analista esteja também passível de incertezas, dependendo do ângulo e proximidade da escala (Lira, 2015).

3.2.3 Estatística aplicada à metrologia

A medição é, inevitavelmente, um dado probabilístico, sendo assim, nunca haverá plena certeza de um resultado (Mendes & Rosário, 2020). Por isso, utiliza-se da estatística para obter valores de maior confiabilidade, baseando-se na observação de variações entre amostras frente às circunstâncias iguais, similares ou diferentes.

A média, neste princípio, é um dado de extrema relevância durante os procedimentos metrológicos, pois é um recurso capaz de informar um valor geral para um grupo de amostras. Sendo assim, a média aritmética pode ser obtida pela estimativa mais confiável de uma grandeza aleatoriamente variável (Mendes & Rosário, 2020):

Equação 1 - Média Aritmética.

$$\bar{x} = \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \div n$$

Sendo \bar{x} a média aritmética, n o número de amostras, e x_i uma das amostras. Porém, cada amostra pode estar tanto acima, quanto abaixo da média; assim, para quantificar essa diferença, utiliza-se a Equação 2 de desvio da média da i -ésima amostra (d_i) (Lira, 2015):

Equação 2 - Desvio da média

$$d_i = x_i - \bar{x}$$

Este valor pode ser tanto positivo, quanto negativo, logo, para obter em módulo a equação do desvio-padrão (σ), de um conjunto de dados, é expressa da seguinte forma na Equação 3 (Lira, 2015):

Equação 3 - Desvio-padrão populacional

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum (d_i)^2}{n}}$$

Porém, também existe o desvio-padrão amostral (s), que é a raiz da variância amostral (s^2), representado na Equação 4 (Lira, 2015):

Equação 4 – Desvio-padrão amostral

$$\sqrt{s^2(x)} = s(x) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{\sum (d_i)^2}{n - 1}}$$

Além da variância amostral, existe a variância da média aritmética, dada pela Equação 5 (Lira, 2015):

Equação 5 – Variância da média aritmética

$$s^2(\bar{x}) = \frac{s^2(x)}{n}$$

Existe também a função densidade de probabilidade, ou seja, fornece um intervalo em que existe maior chance de um certo dado estar (Mendes & Rosário, 2020). Por exemplo, ao realizar uma análise em quintuplicata, é possível saber uma faixa de valores esperados, caso uma sexta análise seja existente, antes mesmo de obter os resultados o analista já pode possuir informações parciais dos valores aproximados que a análise apresentará.

Sendo $f(x)$ a função densidade de probabilidade, a e b , os limites dos intervalos, e X , um valor qualquer, tem-se que:

- $f(x) \geq 0$
- $\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1$
- $P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x)dx$

Com essa equação é possível calcular a probabilidade que o valor X esteja dentro da faixa $[a, b]$. É possível também calcular a média da densidade de probabilidade, que é o melhor valor a ser adotado de um conjunto de medições (Mendes & Rosário, 2020). Sendo μ , a média calculada pela Equação 6:

Equação 6 - Média de densidade de probabilidade

$$\mu = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x)dx$$

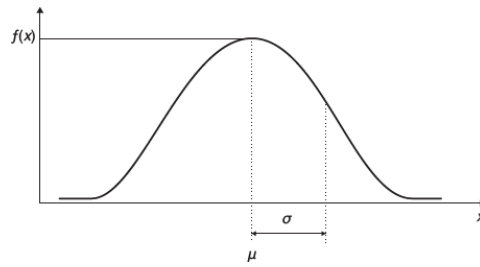
Com essa média, obtém-se também a variância $V(X)$, dada pela Equação 7:

Equação 7 - Variância da densidade de probabilidade

$$V(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu)^2 \cdot f(x)dx$$

Estabelecidos os dados de densidade de probabilidade, é possível determinar sua curva de distribuição. Para este trabalho, a curva escolhida foi a Gaussiana. A distribuição normal – também conhecida como gaussiana – é conhecida por seu formato em “sino” (Mendes & Rosário, 2020), esquematizado na Figura 2:

Figura 2 - Curva de Distribuição Gaussiana



Fonte: MENDES e ROSÁRIO. **DISTRIBUIÇÃO NORMAL OU GAUSSIANA**. 2020. (Figura 3.7). Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521636878/epubcfi/6/28%5B%3Bvnd.vst.idref%3Dchapter03%5D!/4/344%5Bgra3-8%5D/2%4052:11> Acesso em: 18 ago. 2022.

Para dada distribuição, a função de densidade de probabilidade é expressa na Equação 8:

Equação 8 - Função densidade de probabilidade de distribuição gaussiana

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Sendo o desvio-padrão expresso na Equação 9:

Equação 9 - Desvio-padrão da distribuição gaussiana

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mu - x_i)^2}{n}}$$

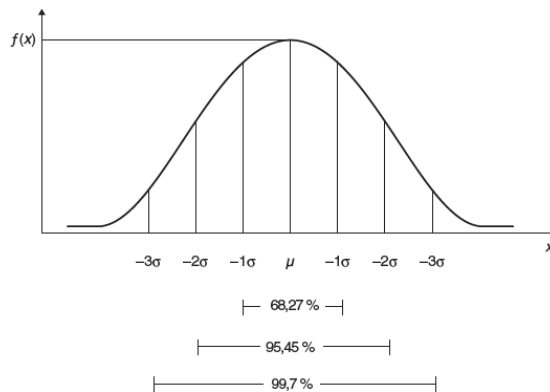
E a média dada pela Equação 10:

Equação 10 - Média distribuição gaussiana

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Considerando uma condição normal, a curva de Gauss deve estar segundo a Figura 3:

Figura 3 - Curva de Gauss em condições normais



Fonte: MENDES e ROSÁRIO. **PROBABILIDADES ASSOCIADAS AOS DESVIOS-PADRÃO EM UMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL.** 2020. (Figura 3.8). Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521636878/epubcfi/6/28%5B%3Bvnd.vst.idref%3Dchapter03%5D!4/344%5Bgra3-8%5D/2%4052:11> Acesso em: 18 ago. 2022.

Como pode ser visto na Figura 3, 99,7% dos resultados de x encontram-se entre -3σ e $+3\sigma$.

3.2.4 Incerteza em medições diretas

Medições diretas são aquelas, cuja grandeza, é diretamente obtida pelo resultado aferido no instrumento. No processo produtivo, as medições que se enquadraram nesta categoria são:

- I. Massa através da balança industrial, ou analítica;
- II. Volume através de provetas, cálices, béqueres, buretas, balões volumétricos etc.;
- III. Temperatura através de termômetros digitais, ou analógicos;

Existem também dois tipos de incerteza de medição: tipo A e tipo B.

A incerteza do tipo A é referente aos desvios-padrão gerados no processo experimental, referentes ao resultado de uma média. Logo, pelo tipo A, é analisada a dispersão das medições em torno de um valor médio.

A incerteza do tipo B, por sua vez, são os desvios-padrão estimados, os quais são fornecidos por fontes externas confiáveis, ou de resultado de observações. Por exemplo, erros sistemáticos ocorrem frente ao desgaste do sistema de medição de um instrumento (Lira, 2015).

3.2.5 Incerteza em medições indiretas

Medições indiretas, diferentemente das diretas, são resultado de equações e combinações de mais de uma grandeza. Como consequência, existe o acúmulo de incertezas, previsto pela **Lei de propagação de incertezas** (Mendes & Rosário, 2020).

Por exemplo, no processo produtivo, é realizado o cálculo da densidade com base em valores de massa e volume, os quais devem ser juntamente considerados no valor final. Então, para definir as incertezas em medições indiretas, entende-se que todas as variáveis devem ser primeiramente consideradas.

Sendo G uma grandeza indireta relacionada as variáveis estatisticamente independentes x , y e z , considera-se que:

s_x , s_y e s_z são os desvios-padrão das variáveis x , y e z ;

$$G = f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z});$$

Logo, o desvio-padrão de $G = f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ é dado pela Equação 11 (Lira, 2015):

Equação 11 - Desvio-padrão de uma grandeza indireta

$$s_G = \pm \sqrt{\left[\left(\frac{\partial G}{\partial x}\right)^2 s_x^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial y}\right)^2 s_y^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial z}\right)^2 s_z^2\right]}$$

Sendo que $\frac{\partial G}{\partial x}$ é a derivada parcial da grandeza indireta G em relação à x .

3.2.6 Aplicação da metrologia

3.2.6.1 Definição de padrões de qualidade

A metrologia foi a ferramenta escolhida como o principal meio para a redução de desperdício durante a produção, que ocorre principalmente com o envase de mais produto que o necessário. Este excedente pode ser justificado pelos valores de densidade do líquido tomado, ao realizar a conversão de quantidade de matéria para termos de massa, conforme apresenta a Equação 12:

Equação 12 - Massa de produto acabado

$$m_{\text{produto-acabado}} = m_{\text{frasco}} + m_{\text{tampa}} + \frac{v_{\text{produto}}}{\rho_{\text{produto}}}$$

Sendo $m_{\text{produto-acabado}}$, a massa de produto acabado, considerando a soma de massa do frasco (m_{frasco}), massa da tampa (m_{tampa}), volume do líquido atestado no rótulo (v_{produto}) e a densidade de produto (ρ_{produto}).

O valor de $m_{\text{produto-acabado}}$ é informado ao funcionário responsável pelo envase, que afere durante o processo com uma balança industrial, que verifica se a quantidade envasada está dentro dos padrões; os quais são estipulados pelo departamento de controle de qualidade. Caso ρ_{produto} esteja distante da densidade real do produto, a consequência será o envase em excesso, ou abaixo do volume atestado no rótulo.

No caso da empresa em questão, observou-se os baixos rendimentos na produção devido ao envase em excesso de produtos, os quais significam o desperdício de produto, mão-de-obra e matéria-prima.

De tal forma, a metrologia será fundamental para a determinação mais precisa das propriedades físicas dos produtos, a fim de reduzir desperdícios. Mas, como isso se relaciona com o controle de qualidade? São considerados indicadores de má qualidade a presença de erros, perdas e desperdício, bem como a necessidade constante de reprocessamento de lotes e baixos rendimentos (Pinto, Alpiovezza, & Righetti, 2012). Logo, a metrologia será usada para definir padrões mais precisos.

3.2.6.2 Controle de rendimentos

A metrologia, como já proposto, é a ferramenta que definirá os padrões de qualidade com melhor precisão para a produção; porém, sua utilidade vai muito além. Com os valores medidos, é possível acompanhar a produção a fim de avaliar se os níveis de rendimento estão de acordo com os parâmetros definidos e eficientes.

3.2.6.3 Limitações metrológicas

Sabe-se que a metrologia está correlacionada com a rastreabilidade das incertezas que compõe os resultados. De tal forma, caso a credibilidade dos dados coletados não seja garantida, a precisão do método é limitada.

Considerando as diretrizes exigidas pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), para que os valores experimentais sejam válidos e satisfatórios, a rastreabilidade do método é imprescindível. Logo, procedimentos que não estão dentro das expectativas do instituto, não podem ser creditados, mas não deixam de ser úteis. Estando, ou não, dentro dos conformes de agências regulamentais, a metrologia ainda é uma ferramenta aplicável para controle interno, o qual é o foco deste trabalho.

3.3 SISTEMA LEAN DE PRODUÇÃO

A palavra *lean* do inglês pode ser traduzida como enxuto, ou seja, tem como objetivo principal tornar a produção mais enxuta. De tal forma, busca-se definir meios de maximizar a produção com um menor gasto de recursos; sejam esses: tempo, espaço, capital, mão-de-obra, maquinário, matéria-prima etc. (Dennis, 2011).

Este sistema, também conhecido como Toyotismo (ou TPS, sigla para *Toyota Production System*), parte da premissa de lucro, dada pela Equação 13 (Dennis, 2011):

Equação 13 - Lucro

$$\textit{Preço (fixo)} - \textit{Custo} = \textit{Lucro}$$

Nesta equação o preço é uma variável fixa, pois deve estar consoante a um valor aplicável e atrativo ao cliente. De tal forma, sendo o preço constante, a realidade atual de uma empresa é aumentar o lucro através da redução dos custos.

Como reduzir custos? Primeiramente, o Sistema Lean – ou Toyota – busca diagnosticar, analisar e extinguir tanto quanto possível *muda* (desperdício, traduzido da língua japonesa). Isto é feito através do empenho conjunto de uma equipe em melhorias padronizadas, o qual – quando bem-sucedidas – geram a compreensão por um ciclo virtuoso de resultados crescentemente positivos (Dennis, 2011).

O sistema Toyota, como o nome já infere, teve suas origens na montadora automotiva japonesa *Toyota*, que após a Segunda Guerra Mundial buscou meios de desenvolver eficiência produtiva (Toyota, 2021?). Sendo assim, o engenheiro Taiichi Ohno – hoje conhecido como fundador do TPS – aproveitou conceitos já explorados pela empresa como *jidoka*.

Capacidade de detectar uma anormalidade rapidamente e interromper imediatamente o trabalho, evitando desperdícios, otimizando o processo e garantindo a qualidade do produto final (Toyota, 2021?).

Um dos aspectos intrínsecos do sistema é a estruturação inteligente de uma empresa, a qual pode ser metaforicamente associada a um organismo. Sendo assim, cada parte do todo possui objetivos e funções bem determinados, sem abandonar a interdependência entre segmentos. De tal forma, o *organismo* não pode ser pensado, muito menos compreendido, por partes isoladas; mas, como um conjunto harmonicamente entrelaçado que visa um objetivo comum através dos objetivos específicos (Dennis, 2011).

Ao longo das décadas, o sistema Toyota foi aprofundado e refinado por engenheiros e gestores, sendo estendido para diversos outros sistemas e métodos, como o sistema 5S, Manutenção Produtiva Total, fluxo contínuo etc. (Dennis, 2011); os quais, podem ser vistos esquematizados na Figura 4 - Atividades Lean – Figura 4

Figura 4 - Atividades Lean

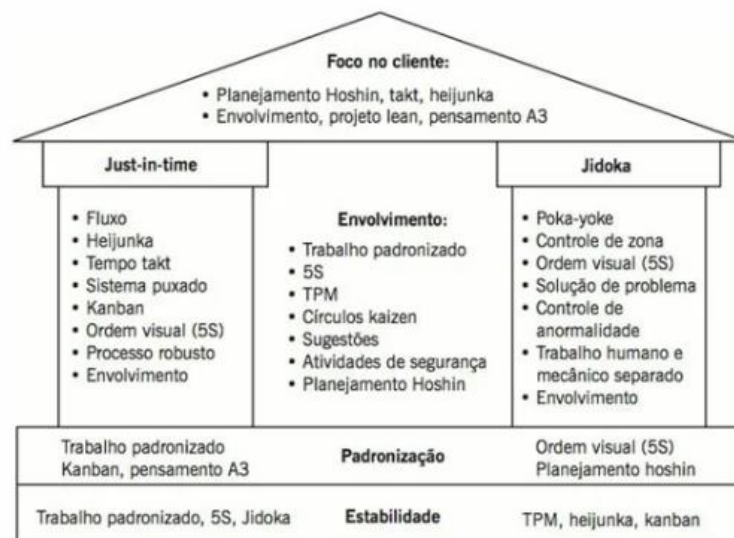


Figura 2.5 Atividades Lean.

Fonte: DENNIS. **ATIVIDADES LEAN**. 2011. (Figura 2.5). Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788577802913/pageid/34>. Acesso em: 9 ago. 2022

Em síntese, as atividades Lean podem ser segmentadas, em: foco no cliente, *just-in-time*, ou seja, “Produzir o que é necessário, no momento necessário e na quantidade necessária”, (Toyota, 2021?), envolvimento, *jidoka*, padronização e estabilidade.

3.3.1 Muda

Como previamente citado, *muda* significa “Desperdício de tempo, material ou dinheiro” (Toyota, 2021?), mas, como é possível diagnosticar? Para isso, foi criada a sigla PQCDMSM (Dennis, 2011):

Productivity (produtividade); *Quality* (qualidade); *Cost* (custo); *Delivery time* (tempo de entrega); *Safety and environment* (segurança e meio-ambiente); *Morale* (moral);

Se uma ação ou iniciativa não contribui para o desenvolvimento de nenhum item listado acima, é considerado *muda*, algo que o cliente não está disposto a pagar (Dennis, 2011).

De acordo com TPS, o **movimento humano** é entendido da seguinte forma: trabalho de fato, trabalho auxiliar e *muda*. O trabalho de fato é o movimento humano capaz de agregar diretamente valor ao produto, contudo, trabalho auxiliar, é aquele que complementa o trabalho de fato, mas por si, de maneira univalente, não contribui ao valor. Caso um movimento não gere valor algum, é *muda* (Dennis, 2011).

O movimento humano pode ser facilmente desperdiçado como resultado de má ergonomia no local de trabalho, uma vez que tem implicações negativas na qualidade da produção, saúde e segurança da produção (Dennis, 2011). Por exemplo, a distância do bico de envase em relação à colaboradora.

Assim como o movimento humano, existe desperdício causado pelos tempos de **espera**; isto é, a janela de tempo em que o trabalhador está inativo devido aos fatores externos (Dennis, 2011). Por exemplo, o tempo de ajuste de equipamentos antes do início de uma linha. Como consequência, o *lead time* (intervalo de tempo entre o pedido e recebimento de um produto pelo cliente) aumenta. *Lead time* é definido pela Equação 14:

Equação 14 - Lead Time

$$\textit{Lead Time} = \textit{tempo de processamento} + \textit{tempo de retenção}$$

De tal forma, a espera prolonga o *lead time* sem que haja qualquer contribuição positiva para o valor, tornando-se assim *muda*. Também, deve-se considerar os desperdícios acarretados durante o **transporte**, o qual é necessário, mas implica intrinsecamente em perda de tempo. Deste modo, a disposição em um ambiente fabril, quando mal planejada, contribui negativamente devido ao deslocamento no trajeto (Dennis, 2011). Por exemplo, o transporte de frascos rotulados até a área de envase.

Outro fator contribuinte para *muda* é a necessidade de **correção**, ou seja, quando algo não está de acordo com os padrões definidos, e afeta negativamente a qualidade e/ou eficiência. Assim, demanda um gasto adicional de tempo, energia, material e/ou mão-de-obra (Dennis, 2011). Por exemplo, o tempo de correção para regulação de uma *inkjet* desajustada.

Um tipo de desperdício é, também, o **excesso de processamento**, o qual eleva a complexidade da produção – bem como, os custos – sem necessidade ou demanda do cliente (Dennis, 2011). Por exemplo, o uso de frascos mais caros em um produto; não sendo o foco de interesse do consumidor.

Um caso comum de desperdício é quando se trata de **estoque**, por exemplo. O acúmulo desnecessário de matérias-primas e outros itens respectivos ao produto, faz com que a produção em certos casos deixe de ser pautada na demanda de mercado, mas sim, em necessidade de consumir o que já existe em estoque (Dennis, 2011). Por exemplo, iniciar uma produção complementar de colônia sem existir pedidos, ou demanda justificável, mas, porque todas as matérias-primas já estão disponíveis para serem usadas.

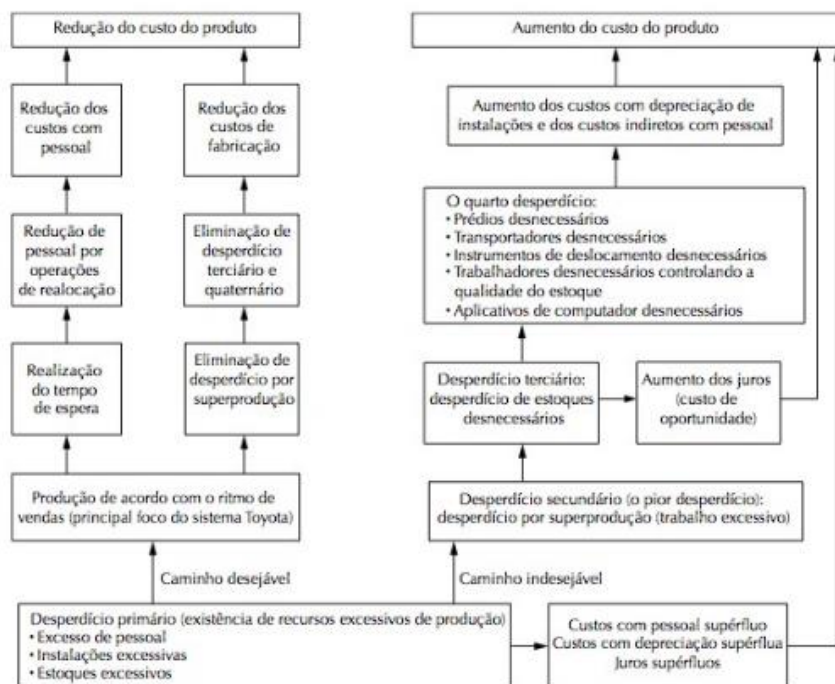
Talvez um dos tipos mais claros de *muda* é o **excesso de produção**, que se entende por produzir mais do que é vendido. Produtos em acúmulo, ressalta necessidade de espaço para estoque, utilização de mão-de-obra, tempo, energia, maquinário etc., sem que haja a garantia da compra. Como consequência, pode reduzir a relação de demanda e desperdiçar recursos que poderiam ser mais bem aproveitados com outros produtos de maior interesse (Dennis, 2011). Como exemplo, produzir vários lotes de um determinado produto, mesmo sem grandes perspectivas concretas de vendas gastando recursos sem garantia, ou certeza de retorno a curto ou longo-prazo.

Um outro caso mais sutil, porém, com grandes implicações, é o **conhecimento sem ligação**, quando ocorre falta de comunicação capaz de gerar más decisões, más ações e até acidentes (Dennis, 2011). Por exemplo, ignorar os padrões de organização e produção, causando uma contaminação cruzada entre produtos devido à falta de conhecimento do manual de boas práticas.

Através do diagnóstico e planejamento de eliminação de desperdícios, é possível reduzir o custo do produto, consequentemente aumentando o lucro embutido. Na Figura 5, é possível ver um esquema elucidativo, que parte do princípio de que conforme *mura é enxugado* (caminho desejável), gera uma reação em cadeia que permite atingir uma maior eficiência.

Por outro lado, o esquema também exemplifica o caso indesejável, em que os desperdícios não apenas não são minimizados, como também agravados, gerando o aumento nos custos.

Figura 5 - Processo de eliminação de desperdícios para redução de custos



Fonte: MONDEN. **Processo de eliminação de desperdícios para redução de custos.** 2015. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582602164/pageid/2>. Acesso em: 10 ago. 2022.

Como esquematizado, a soma dos desperdícios culmina no aumento dos custos produtivos sem que nada positivo ao ver do consumidor seja agregado ao produto.

3.3.2 Mura

A palavra *mura*, proveniente da língua japonesa, significa “Variações indesejadas no processo que geram dificuldades e irregularidades” (Toyota, 2021?). Por exemplo, a constante mudança de colocação atributiva de um colaborador em uma fábrica, saindo de um setor para outro, totalmente diferente. Como consequência a adequação de uma realidade para outra, realiza o desgaste de tempo e recursos.

3.3.3 Muri

Muri, por sua vez, significa “Qualquer sobrecarga em equipamentos ou operadores” (Toyota, 2021?), algo trabalhoso ou difícil de ser executado, seja como consequência do planejamento ruim, má operação, variações na demanda etc., com isso, a produção deixa de ser fluida.

3.3.4 Estabilidade

Qualquer melhoria em uma cadeia produtiva começa na estabilidade dos 4 *Ms* (Dennis, 2011):

Man/Woman: o colaborador;

Machine: a máquina;

Material: o material;

Method: o método;

Para que a estabilidade seja atingida e mantida, são utilizados os sistemas 5S e manutenção produtiva total (TPM) como ferramentas de gerenciamento.

3.3.4.1 Sistema 5S

O sistema 5S, nasceu com o objetivo de guiar visualmente e facilitar as atividades em um determinado local. Deste modo, busca-se esclarecer possíveis dúvidas ou dificuldades que atrapalhem a fluidez na cadeia produtiva, assim, organizando de maneira elucidativa, com informativos autoexplicativos, como consequência, obtém-se um gerenciamento visual.

Este sistema é amplamente adotado na indústria, principalmente por partes de fábricas que buscam implantar certificação (como por exemplo, ISO 9000); visto que é eficiente em organizar cadeias produtivas de maneira simples e objetiva.

Como o nome infere, o sistema é formado por 5Ss, os quais representam as palavras em japonês (UFABCjr, 2018):

Seiri (S1): Utilização;

Seiton (S2): Organização;

Seiso (S3): Limpeza;

Seiketsu (S4): Padronização;

Shitsuke (S5): Autodisciplina;

Seiri (S1), também conhecido como senso de utilização, ou refere-se ao termo *separar*, é designado para o princípio básico da organização: descartar o que não é útil ou necessário. Para isso, é utilizada uma etiqueta vermelha que estão descritas as informações básicas sobre o item a ser descartado.

A ação da etiquetagem vermelha não é feita de maneira isolada, é necessário estabelecer um local para os itens descartados, etiquetas na quantidade adequada, separação para reciclagem ou tratamento apropriado. De tal forma, a limpeza de objetos não utilizados, realiza-se de maneira organizada e ágil (Dennis, 2011).

Seiton (S2), por sua vez, refere-se ao senso de organização e classificação, ou seja, os itens declarados como úteis devem ser classificados, armazenados e posicionados de maneira lógica, a fim de reduzir descolamentos desnecessários ou até mesmo perda e confusão por desorganização. Deste modo, realiza-se sinalizações (sistemas visuais) e registros de quantidade e características, para que qualquer indivíduo seja capaz de encontrar qualquer objeto (Dennis, 2011).

Seiso (S3), ou senso de limpeza, busca trazer limpeza e organização dentro de um local produtivo, a fim de facilitar a movimentação e fluidez da produção, ou seja, deve-se saber o que limpar, como limpar, o responsável e o padrão de limpo definido (Dennis, 2011). Em contrapartida, espaços insalubres e desorganizados fomentam ambientes caóticos e impróprios para sua eficiência e qualidade. Além disto, a limpeza deve estar dentro do autopolicimento de cada funcionário, os quais, juntamente, devem colaborar para manutenção das facilidades.

Seiketsu (S4), chamado também de padronização, tem como objetivo trazer uniformidade na produção, o qual deve estar de acordo com todos os colaboradores para que haja êxito. Para que isso aconteça, são utilizados sinalizadores e sistemas visuais (como *kanban*), para que cada etapa do processo produtivo possua estabelecimento das funções (Dennis, 2011).

Por fim, *Shitsuke* (S5), que significa autodisciplina e manutenção, – o último “S”. Uma vez que os demais Ss são implementados, o sistema deve ser gerenciado e inspecionado a fim de ter continuidade. Para isso, os colaboradores devem frequentemente frisar os 5Ss, seja por treinamentos, informativos ou lembretes (Dennis, 2011).

Entendendo a dinâmica do sistema 5S é compreensível a sua importância na base de um TPS, visto que para atingir um nível de melhoria superior, é necessário estruturar uma escala global de organização.

3.3.5 Foco no cliente

O foco no cliente é um ponto chave no TPS, visto que, o produto deve ser feito para atingir as necessidades do consumidor com base no preço aplicável. De tal forma, o foco no cliente pode ser interpretado de diversas maneiras. Por exemplo, um produto que não atinge as expectativas do consumidor, ou não entrega o prometido, dificilmente agradará o cliente e trará chance de recompra. A qualidade de um produto deve ser, no mínimo, condizente com o que o cliente esteja disposto a pagar.

Por outro lado, um produto que supera as expectativas de um consumidor com base no preço é algo positivo e traz chances de recompra; no entanto, em certos casos, significa que o valor aplicado está abaixo do que o cliente estaria disposto a pagar. Por isso, o ideal é fomentar um equilíbrio, evitando o quanto possível lesar o consumidor com um produto inferior, ao passo que, não perca potencial de lucro. Então, como a metrologia pode ser aplicada nesta lógica?

Através da determinação de densidades com maior precisão, os valores de massa padrão são determinados. De tal forma, tais dados serão referência durante o procedimento de envase, evitando dois cenários atrelados aos malefícios: envase abaixo da quantidade atestada (lesando o consumidor), e envase acima da quantidade atestada (desperdiçando fórmula).

3.3.6 Just-in-time

Just-in-time (JIT), pode ser traduzido como *na hora certa/bem a tempo*, que significa “Produzir o que é necessário, no momento necessário e na quantidade necessária” (Toyota, 2021?). Em outras palavras, pode ser compreendido como:

Um fluxo contínuo de produção através da companhia ou da cadeia de suprimento, ou uma adaptação às mudanças na demanda por quantidades e variedades, é obtido alcançando-se dois conceitos-chave: *just-in-time* e automação [...] (Monden, 2015).

A produção JIT funciona em contraposição com a fabricação *pressionada*, que é a produção imposta e feita sem uma demanda existente (Dennis, 2011). De tal forma, JIT buscar agir de forma *realista*, em que a produção é baseada em uma demanda real.

Com isso, a premissa de JIT parte dos seguintes requisitos (Dennis, 2011):

- Produzir um item apenas quando existe um pedido;
- Nivelar a demanda para aumentar a fluidez da produção (*heijunka*);
- Dialogar com todos os processos com a demanda do cliente por meios visuais claros (*kanban*);
- Potencializar a flexibilidade da mão-de-obra e maquinário;

De tal forma, JIT age justamente de acordo com TPS, ao passo que elimina desperdícios produtivos, e foca apenas no que realmente precisa ser feito. Porém, não se deve ignorar o *just-in-case*, que pode ser compreendido como medidas que não são *puxadas*, mas têm embasamentos lógicos em perspectivas realistas de necessidade.

Naturalmente, uma produção JIT demanda muita organização e planejamento, para isso, o sistema *kanban* auxilia na troca de informações relevantes às etapas da produção. A troca de dados ocorre através de ferramentas visuais que indicam aos colaboradores o que eles precisam saber em cada etapa (Monden, 2015).

Além disso, a execução eficaz de uma produção depende de seu nivelamento de tarefas, ou *heijunka*, assim facilitando o entendimento e padronizando as incumbências dos colaboradores.

3.3.7 Padronização

A padronização, como visto em *Seiketsu*, o quarto S, pode ser implementado em um fábrica através da definição clara de padrões de qualidade e ação esperados.

Neste caso, a metrologia serve para extrair dados que serão úteis na definição dos padrões de produção, ou seja, através da coleta, tratamento e distribuição de informação, é possível estabelecer valores mais confiáveis e utilizá-los como guia para a fabricação.

3.4 DIAGNÓSTICO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIAS PARA O ESTUDO DE CASO

Conhecendo os princípios do Sistema *Lean*, foi possível traçar possibilidades de melhoria dentro da realidade da fábrica. Atualmente, constatou-se que a maior fonte de desperdício na produção é o envase de produto em excesso, cada frasco produzido contém visivelmente mais do que o necessário. Este excesso pode ser atribuído a adoção de densidade de colônia como $0,97 \text{ g/cm}^3$, em que foi tomada com uma margem conservadora de segurança.

Como consequência, existe:

- Desperdício de movimento humano que não agrega valor ao produto;
- Desperdício de matéria-prima que é envasada sem necessidade;
- Desperdício de tempo gasto no processamento excessivo, que não agrega valor ao produto;
- Desperdício de tempo gasto no aguardo de matérias-primas novas, que é intensificado pelo processamento excessivo;
- Desperdício pela desconexão de informação entre o funcionário e o padrão de produção estipulado;
- Desperdício por excesso de processamento que não agrega ao valor ou moral do produto;
- Desperdício de tempo para correção de produto excessivamente processado;

Analisando os desperdícios relatados, pode-se propor algumas mudanças simples que revertam a situação:

Conexão de conhecimento: garantir que os colaboradores entendam a tarefa proposta e o padrão de qualidade esperado. Isso pode ser feito através da instrução dos funcionários, e adoção de *kanban*.

Padrão de processamento: estabelecer o padrão que será o guia para o envase, de tal forma, apenas a quantidade necessária será inserida ao produto. Isso pode ser feito através da coleta de dados pela metrologia.

Estabelecer *Heijunka*: uniformizar a produção de forma que diferentes funcionários sigam o mesmo padrão de operação, seguindo os padrões de processamento estipulados pela metrologia. De tal forma, espera-se que diminua a necessidade de correção da produção. Isso pode ser atingido por meio da adoção do sistema 5S.

Logo, pode-se assumir que a metrologia isoladamente permite enxugar gastos desnecessários, porém, pode existir sua potencialização quando outras ferramentas do TPS são agregadas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MEDIÇÃO DE MASSA

4.1.1 Balança analítica

A balança analítica utilizada pela empresa é mantida no laboratório de controle de qualidade em uma mesa separada, como apresentado na Figura 6:

Figura 6 - Balança Analítica



Fonte: Elaborada pela autora.

Como pode ser atestado na imagem, o instrumento é digital e possui 4 casas decimais, em que a menor divisão (e incerteza) é 0,0001g em uma faixa de operação de 0,0001g a 216,000g. Além disto, o equipamento possui um selo de certificado de calibração realizado por uma empresa especializada.

Considerando a incerteza, o valor da amostra pesada pode ser dado pela Equação 15:

Equação 15 – Incerteza para a balança analítica

$$m_i = m_{i,pesada} \pm \Delta m_{incerteza} = m_{i,pesada} \pm 0,0001g$$

Sendo $\Delta m_{incerteza}$, a incerteza implicada pelo instrumento, $m_{i,pesada}$ o valor aferido pelo instrumento é m_i o valor aferido, considerando a incerteza implicada pelo instrumento.

4.2 MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

4.2.1 Termômetro analógico

O termômetro analógico utilizado foi adaptado como tampa do picnômetro, como pode ser visto na Figura 7 e Figura 8.

Figura 7 - Termômetro analógico



Fonte: Elaborada pela autora.

Considerando que o termômetro é analógico, e atua em uma faixa de 0°C a 50°C, possuindo um menor valor de divisão equivalente a 1°C; adota-se a incerteza como a metade, ou seja, 0,5°C.

Equação 16 - Valor de uma amostra em temperatura considerando incerteza

$$t_i = t_{i,medida} \pm \Delta t_{incerteza} = t_{i,medida} \pm 0,5^{\circ}C$$

Sendo t_i a temperatura considerando a temperatura medida ($t_{i,medida}$) e a incerteza do termômetro ($\Delta t_{incerteza}$). Vale ressaltar que, por opção da empresa, o termômetro não é calibrado, assim como as balanças analíticas. Como consequência, sua credibilidade não pode ser certificada.

4.3 PICNÔMETRO

4.3.1 Picnômetro de vidro

O picnômetro de vidro utilizado pela empresa pode ser visto na Figura 8, com isso, como é possível observar, o instrumento possui um termômetro de mercúrio especialmente ajustado para fechar a tampa. Além disto, a lateral conta com um capilar coberto por uma proteção removível, também de vidro.

Figura 8 - Picnômetro de vidro



Fonte: Elaborada pela autora.

Existem diversos tipos de picnômetros de vidro, mas este, especialmente, é capaz de acompanhar as mudanças de temperatura do fluido, bem como a saída de escape do excesso no capilar.

Apesar de que o instrumento ateste ter capacidade de 50mL, a autora realizou uma calibração para definir sua verdadeira capacidade. Assim como o termômetro analógico, a empresa não optou por encarregar uma empresa terceirizada para calibrá-lo.

4.3.1.1 Calibração do picnômetro de vidro

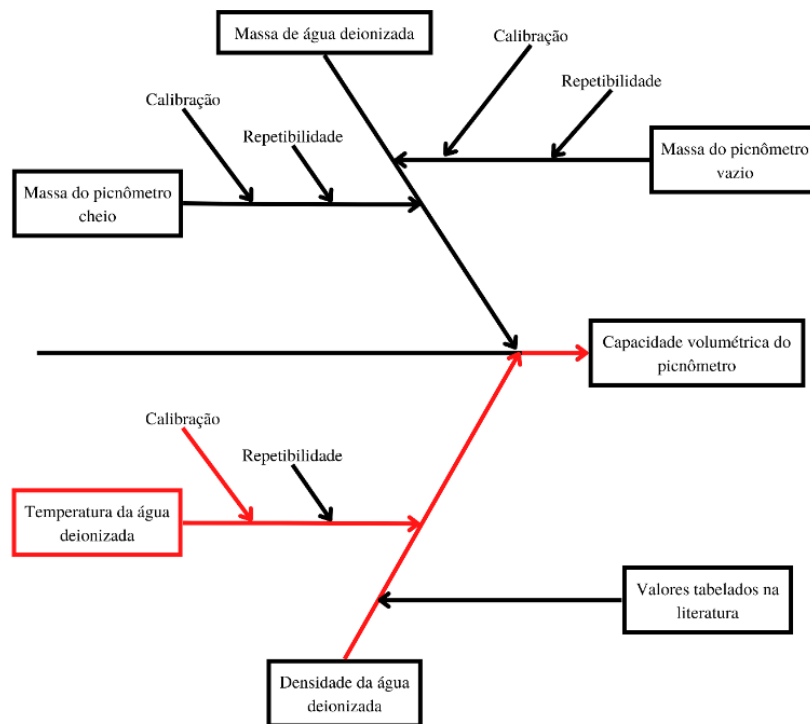
O procedimento de calibração foi realizado dentro do laboratório de controle de qualidade da empresa, utilizando os seguintes materiais:

- Béquer de 250 contendo água destilada;
- Balança Analítica;
- Picnômetro (termômetro + proteção do capilar);
- Luvras de silicone;

Todo o processo foi elaborado de acordo com as instruções recomendadas pelo artigo *A Determinação da Densidade de Sólidos e Líquidos*, publicado em 2004, pela revista Chemkeys. Com a justificativa de que se possui fins didáticos (César, Paoli, & Andrade, 2004).

Este procedimento não é capaz de atender as normas de calibração exigidas pelas agências de fiscalização, uma vez que o termômetro utilizado não é calibrado. Como consequência, a rastreabilidade das incertezas está comprometida e não pode ser seguramente garantida, portanto. Vide a Figura 9:

Figura 9 - Diagrama de causa e efeito da calibração do picnômetro

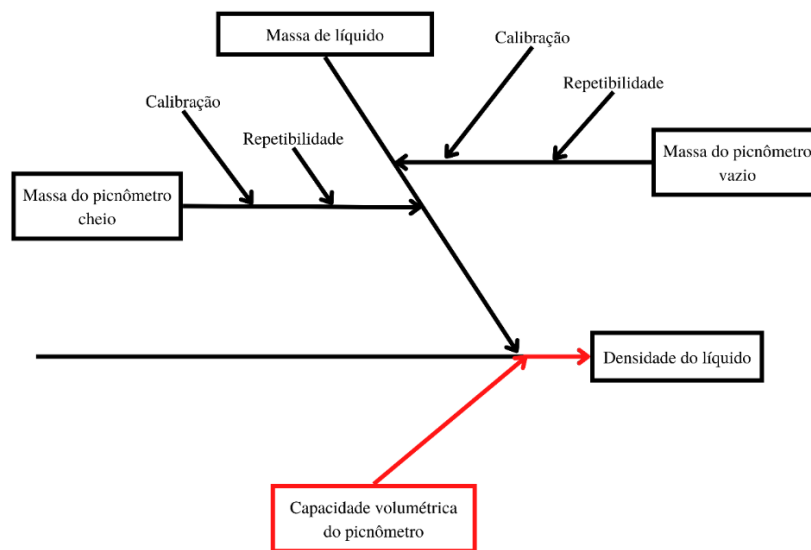


Fonte: Elaborado pela autora.

De tal forma, todos os cálculos que sucedem a calibração do picnômetro também têm sua rastreabilidade limitada, mesmo que, feitos com instrumentos certificados. Vide a

Figura 10:

Figura 10 - Diagrama de causa e efeito da densidade experimental



Fonte: Elaborado pela autora.

No entanto, esses valores ainda podem ser de grande utilidade para o controle interno da empresa na determinação de padrões mais enxutos de produção. Como se trata de um procedimento delicado, a autora utilizou luvas de silicone para evitar que resíduos presentes nas mãos passassem para o picnômetro e, portanto, afetassem a qualidade da calibração. Para a calibração, iniciou-se pesando o picnômetro – com todos os acessórios – na balança analítica três vezes, em seguida, o elemento foi mergulhado, em repouso, por 10 minutos dentro do béquer com água destilada para atingir equilíbrio térmico.

Então, o picnômetro foi enchido com água até escorrer pelas laterais e posto sobre um papel absorvente e foi fechado. Depois, cuidadosamente, foi enxugado para que existisse o mínimo possível de resíduos líquidos nas laterais do instrumento. Por fim, o picnômetro foi pesado e o procedimento foi repetido por três vezes, registrando a massa e a temperatura.

O cálculo feito para obter a capacidade do picnômetro é descrito pela Equação 17:

Equação 17 - capacidade mássica do picnômetro para amostra i

$$m_{\acute{a}gua,i} = m_{pc,i} - \overline{m_{pv}}$$

Sendo $m_{\acute{a}gua,i}$, a massa da água destilada; $m_{pc,i}$ a massa da amostra i do picnômetro cheio e $\overline{m_{pv}}$ a média das amostras de massa do picnômetro vazio.

Para obter a capacidade volumétrica do picnômetro, utiliza-se os dados obtidos na Equação 18:

Equação 18 - capacidade volumétrica do picnômetro para amostra i

$$v_{\acute{a}gua,i} = m_{\acute{a}gua,i} / \rho_{\acute{a}gua,i}$$

Nas Tabela 2 e Tabela 3, observa-se os dados referentes as medidas diretas de massa:

Tabela 2 - Calibração do picnômetro de vidro: vazio

Medição	Massa (g) \pm 0,0001
I	37,6243
II	37,6237
III	37,6243
MÉDIA (g)	37,6241
Variância estimada	1,2 x 10⁻⁷
Variância da média aritmética	4,0 x 10⁻⁸
Desvio-padrão da média (g)	\pm0,0002

Fonte: Elaborado pela autora.

Com os dados medidos, consecutivamente, do picnômetro vazio, realiza-se a média pela Equação 1, variância da média aritmética pela Equação 5, para encontrar o desvio padrão. Sabe-se que a incerteza de $\overline{m_{pv}}$ é tanto resultado da incerteza do instrumento, quanto das considerações de média, de tal forma, através da Equação 11, é possível encontrar $s_{\overline{m_{pv}}}$.

$$\begin{aligned}
 s_{\overline{m_{pv}}} &= \pm \sqrt{\left[\left(\frac{\partial \overline{m_{pv}}}{\partial \overline{m_{pesada}}} \right)^2 s_{\overline{m_{pesada}}}^2 + \left(\frac{\partial \overline{m_{pv}}}{\partial \Delta m_{incerteza}} \right)^2 s_{\Delta m_{incerteza}}^2 \right]} \\
 &= \pm \sqrt{\left[\left(\frac{\partial (\overline{m_{pesada}} + \Delta m_{incerteza})}{\partial \overline{m_{pesada}}} \right)^2 s_{\overline{m_{pesada}}}^2 + \left(\frac{\partial (\overline{m_{pesada}} + \Delta m_{incerteza})}{\partial \Delta m_{incerteza}} \right)^2 s_{\Delta m_{incerteza}}^2 \right]} \\
 &= \pm \sqrt{[(1 + 0)^2 (0,0002g)^2 + (0 + 1)^2 (0,0001g)^2]} \\
 &= \pm \sqrt{[(0,0002g)^2 + (0,0001g)^2]} = \pm \sqrt{5 \times 10^{-8}g^2} = \pm 0,0002233607g
 \end{aligned}$$

Em seguida, estão as medidas de massa do picnômetro cheio de água destilada, para este caso, não há necessidade de realização de média, visto que cada medição é realizada separadamente e possui condições ligeiramente diferentes, devido à temperatura e intervalo de tempo entre realização de medidas.

Tabela 3 - Calibração do picnômetro de vidro: cheio

Medição	Massa (g) $\pm 0,0001$
1	88,8052
2	88,8063
3	88,7965

Fonte: Elaborado pela autora.

Para calcular a massa referente unicamente a quantidade de água dentro do picnômetro, utiliza-se a Equação 17 considerando a massa média do picnômetro vazio. Para calcular a propagação das incertezas, parte-se da Equação 11 adaptada para a Equação 17:

$$\begin{aligned}
 s_{m_{\text{água},i}} &= \pm \sqrt{\left[\left(\frac{\partial m_{\text{água},i}}{\partial m_{pc}} \right)^2 s_{m_{pc}}^2 + \left(\frac{\partial m_{\text{água},i}}{\partial \bar{m}_{pv}} \right)^2 s_{\bar{m}_{pv}}^2 \right]} \\
 &= \pm \sqrt{\left[\left(\frac{\partial (m_{pc,i} - \bar{m}_{pv})}{\partial m_{pc,i}} \right)^2 s_{m_{pc,i}}^2 + \left(\frac{\partial (m_{pc,i} - \bar{m}_{pv})}{\partial \bar{m}_{pv}} \right)^2 s_{\bar{m}_{pv}}^2 \right]} \\
 &= \pm \sqrt{[(1 - 0)^2 (0,0001g)^2 + (0 - 1)^2 (0,000223607g)^2]} \\
 &= \pm \sqrt{[(0,0001g)^2 + (0,000223607g)^2]} \\
 s_{m_{\text{água},i}} &= \pm \sqrt{6,0 \times 10^{-8}} = 0,000245g
 \end{aligned}$$

Então, aplicando para a Equação 17 para as medidas 1, 2 e 3:

$$m_{\text{água},1} = m_{pc,1} - \bar{m}_{pv} = (88,8052)g - (37,6241)g$$

$$m_{\text{água},1} = 51,1811g$$

$$m_{\text{água},2} = 51,1822g$$

$$m_{\text{água},3} = 51,1724g$$

Os resultados dos cálculos da Equação 17 podem ser vistos na Tabela 4:

Tabela 4 - Calibração do picnômetro de vidro: água destilada

Medição	Massa (g)
1	51,1809
2	51,1826
3	51,1722
Incerteza (g)	±0,000245

Fonte: Elaborado pela autora.

Para transformar valores de massa em termos de volume, é necessário utilizar a massa específica, a qual foi obtida na literatura (Baccan, Andrade, Godinho, & Barone, 2003), e é definida pela temperatura do fluido.

Tabela 5 - Calibração do picnômetro de vidro: temperatura de cada medida

Medição	Temperatura (°C) ± 0,5
1	22
2	23
3	23

Fonte: Elaborado pela autora.

A referência de massa específica para cada temperatura foi tomada a partir dos dados da Figura 11:

Figura 11 - Densidade absoluta da água em relação à temperatura

I – DENSIDADE ABSOLUTA DA ÁGUA^(a)

T (°C)	d(g/cm ³)	T (°C)	d(g/cm ³)	T (°C)	d(g/cm ³)
0	0,999841	10	0,999700	20	0,998203
1	900	11	605	21	0,997992
2	941	12	498	22	770
3	965	13	377	23	538
4	973	14	244	24	296
5	965	15	099	25	044
6	941	16	0,998943	26	0,996783
7	902	17	774	27	512
8	849	18	595	28	232
9	781	19	405	29	0,995944

(a) Interpolar para frações de grau Celsius

Fonte: BACCAN, ANDRADE et al. **Densidade absoluta da água**. (I ilustração).

Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521215219/pageid/306>. Acesso em 13 set. 2022.

Porém, não se pode ignorar a incerteza da densidade propagada pela incerteza instrumental do termômetro analógico. De tal forma, considerou-se as medidas de densidades para as temperaturas das medições 1, 2 e 3, bem como, a interpolação para os casos de $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Vide a Tabela 6:

Tabela 6 – Calibração do picnômetro de vidro: densidade absoluta da água destilada

Medição	ΔT_i	T ($^\circ\text{C}$)	ρ (g/cm^3)	ρ média (g/cm^3)	s^2 de ρ	s^2 de ρ média
1	-0,5 $^\circ\text{C}$	21,5	0,997881	0,997768	1,288 x 10 ⁽⁻⁸⁾	4,294 x 10 ⁽⁻⁹⁾
	0	22	0,99777			
	+0,5 $^\circ\text{C}$	22,5	0,997654			
2 e 3	-0,5 $^\circ\text{C}$	22,5	0,997654	0,997536	1,404 x 10 ⁽⁻⁸⁾	4,681 x 10 ⁽⁻⁹⁾
	0	23	0,997538			
	+0,5 $^\circ\text{C}$	23,5	0,997417			
Desvio-padrão da média (g/cm^3)						
1				6,55346 x 10⁽⁻⁵⁾		
2 e 3				6,84211 x 10⁽⁻⁵⁾		

Fonte: BACCAN, ANDRADE et al. [ADAPTADO].

Como a densidade é uma medida indireta, conseqüentemente o volume do picnômetro a ser determinado também é, logo, para determinar a propagação de incerteza na densidade, aplica-se a Equação 18 na Equação 11:

$$\begin{aligned}
 s_{v_{\text{água},i}} &= \pm \sqrt{\left[\left(\frac{\partial v_{\text{água},i}}{\partial m_{\text{água},i}} \right)^2 s_{m_{\text{água},i}}^2 + \left(\frac{\partial v_{\text{água},i}}{\partial \rho_{\text{água},i}} \right)^2 s_{\rho_{\text{água},i}}^2 \right]} \\
 &= \pm \sqrt{\left[\left(\frac{\partial(m_{\text{água},i} \div \rho_{\text{água},i})}{\partial m_{\text{água},i}} \right)^2 s_{m_{\text{água},i}}^2 + \left(\frac{\partial(m_{\text{água},i} \div \rho_{\text{água},i})}{\partial \rho_{\text{água},i}} \right)^2 s_{\rho_{\text{água},i}}^2 \right]} \\
 \frac{s_{v_{\text{água},i}}}{v_{\text{água},i}} &= \pm \sqrt{\frac{s_{m_{\text{água},i}}^2}{m_{\text{água},i}^2} + \frac{(-1)^2 \times s_{\rho_{\text{água},i}}^2}{\rho_{\text{água},i}^2}}
 \end{aligned}$$

Com os dados das Tabela 2, Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 6, substituindo na Equação 18, resulta em:

$$v_{\text{água},1} = \frac{m_{\text{água},1}}{\rho_{\text{água},1}} = \frac{(51,1809)\text{g}}{(0,997768)\text{g}/\text{cm}^3} =$$

$$v_{\text{água},1} = 51,2956\text{cm}^3$$

$$v_{\text{água},2} = 51,3086\text{cm}^3$$

$$v_{\text{água},3} = 51,2988\text{cm}^3$$

$$\frac{s_{v_{\text{água},1}}}{v_{\text{água},1}} = \pm \sqrt{\frac{s^2_{m_{\text{água},1}}}{m^2_{\text{água},1}} + \frac{(-1)^2 \times s^2_{\rho_{\text{água},1}}}{\rho^2_{\text{água},1}}} = \pm \sqrt{\frac{(0,000245\text{g})^2}{(51,1811\text{g})^2} + \frac{(-1)^2 \times (0,0000655\text{g}/\text{cm}^3)^2}{\left(\frac{0,997768\text{g}}{\text{cm}^3}\right)^2}}$$

$$s_{v_{\text{água},1}} = 0,003378\text{cm}^3$$

$$s_{v_{\text{água},2}} = 0,003528\text{cm}^3$$

$$s_{v_{\text{água},3}} = 0,003527\text{cm}^3$$

Os dados calculados podem ser vistos compilados na Tabela 7:

Tabela 7 - Calibração do picnômetro de vidro

Medição	Volume (cm ³)	s de volume (cm ³)
1	51,2956	0,003378
2	51,3086	0,003528
3	51,2988	0,003527
MÉDIA	51,3010	0,003478
Desvio-padrão da média	±0,00392046	±0,00005
Incerteza total (cm³)	±0,003920776	

Fonte: Elaborado pela autora.

Logo, consoante a calibração realizada pela autora, a capacidade volumétrica do picnômetro de vidro é de 51,3010 mL ± 0,00392 mL.

4.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO DE DENSIDADES

A determinação da densidade absoluta de produtos líquidos foi realizada em laboratório utilizando picnômetros devidamente calibrados. Além disso, para garantir melhor qualidade e uniformidade nos resultados, foram tomados procedimentos padrões para sua realização.

Com o objetivo de que as análises fossem feitas sob condições semelhantes, tanto quanto possível, os mesmos instrumentos foram utilizados pela mesma analista. Também, vale ressaltar que os experimentos foram feitos em períodos matutinos, com uma janela de temperatura aproximada, registrada entre 15°C e 25°C.

4.4.1 Densidade em função da temperatura para colônias

O produto mais vendido e processado ao mês, na fábrica, é a colônia, ou seja, uma análise mais minuciosa de sua densidade é interessante para um melhor aproveitamento das matérias-primas. Todo e qualquer produto tem sua densidade variável em função da temperatura e condições de produção, no entanto, a perda ocasionada pelas imprecisões é mais expressiva quando a produção é em maior quantidade. Logo, a colônia foi escolhida como alvo de análise mais aprofundada.

Os dois grandes fatores que corroboram para flutuações na densidade são, por estes vieses, a temperatura e as condições de produção. A expansão e retração natural dos líquidos afeta a densidade, da mesma forma que a dilatação térmica do recipiente de manipulação da fórmula causa diferenças nas concentrações de ingredientes.

Tendo em vista esses fatos, a determinação da densidade da colônia considerou tanto diferentes tanques de um mesmo lote, quanto o uso de diferentes temperaturas. Para um mesmo lote, foram retiradas amostras de aproximadamente 200mL de quatro tanques diferentes, e refrigeradas na geladeira do laboratório. Depois, as amostras de cada tanque foram separadas em três e analisadas em triplicata, separadamente.

A amostra refrigerada foi colocada no picnômetro de vidro, no qual acompanhou-se a mudança da densidade em função da temperatura em intervalos de 5°C de 15°C a 30°C. Conforme a temperatura aumentou, o líquido excedente extravasou pelo capilar, por isso, foi enxugado antes de cada pesagem.

Assim como no procedimento de calibração, este método propaga incertezas, os quais devem ser calculadas. Neste experimento, os materiais utilizados foram:

Picnômetro com termômetro; Amostras de colônias; Balança analítica e Papel higiênico.

Considerando três medidas (1, 2 e 3) de um lote qualquer para as temperaturas $T_{15^{\circ}\text{C}}$, $T_{20^{\circ}\text{C}}$, $T_{25^{\circ}\text{C}}$ e $T_{30^{\circ}\text{C}}$:

Equação 19 - Média de massa do picnômetro cheio para uma temperatura

$$\overline{m_{pc,15^{\circ}\text{C}}} = \frac{\sum m_{pc,pesado,15^{\circ}\text{C},i}}{n} + \Delta m_{balança}$$

Sendo $\overline{m_{pc,15^{\circ}\text{C}}}$ a média de massa do picnômetro cheio, para uma mesma temperatura, considerando a média dos valores aferidos na balança ($\overline{m_{pc,pesado,15^{\circ}\text{C}}}$) e as variações ocasionadas pelo instrumento ($\Delta m_{balança}$). A incerteza de $\overline{m_{pc,15^{\circ}\text{C}}}$ ($s_{\overline{m_{pc,15^{\circ}\text{C}}}}$) é dada pelo desvio-padrão ($s_{\overline{m_{pc,pesado,15^{\circ}\text{C}}}}$) e a incerteza da balança ($s_{\Delta m_{balança}}$):

Equação 20 - Incerteza da média do picnômetro cheio

$$s_{\overline{m_{pc,15^{\circ}\text{C}}}} = \pm \sqrt{s^2_{\overline{m_{pc,pesado,15^{\circ}\text{C}}}} + s^2_{\Delta m_{balança}}}$$

Com isso, é possível determinar a massa média de líquido no picnômetro ($\overline{m_{líq,15^{\circ}\text{C}}}$), sabendo a massa do picnômetro vazio obtida na calibração ($\overline{m_{pv}}$):

Equação 21 - Média da massa de líquido

$$\overline{m_{líq,15^{\circ}\text{C}}} = \overline{m_{pc,15^{\circ}\text{C}}} - \overline{m_{pv}}$$

Deste modo a incerteza propagada é dada por:

Equação 22 - Incerteza da média da massa de líquido

$$s_{\overline{m_{líq,15^{\circ}\text{C}}}} = \pm \sqrt{s^2_{\overline{m_{pc,15^{\circ}\text{C}}}} + s^2_{\overline{m_{pv}}}}$$

Em seguida, utilizando o valor de volume obtido pela calibração ($\overline{v_p}$), pode-se encontrar a média da densidade para a temperatura ($\overline{\rho_{15^\circ C}}$), bem como sua incerteza propagada:

Equação 23 - Média da densidade de líquido para uma temperatura

$$\overline{\rho_{15^\circ C}} = \frac{\overline{m_{\text{líq},15^\circ C}}}{\overline{v_p}}$$

Equação 24 - Incerteza da média da densidade de líquido

$$s_{\overline{\rho_{15^\circ C}}} = \pm \sqrt{\frac{s^2_{\overline{m_{\text{líq},15^\circ C}}}}{m^2_{\text{líq},15^\circ C}} + \frac{s^2_{\overline{v_p}}}{v^2_p}}$$

Enfim, com os dados de $\overline{\rho_{15^\circ C}}$, $\overline{\rho_{20^\circ C}}$, $\overline{\rho_{25^\circ C}}$ e $\overline{\rho_{30^\circ C}}$, para o lote escolhido, é possível realizar uma reta aproximada de densidade em função da temperatura através da linearização expressa na Equação 25:

Equação 25 - Densidade em função da temperatura

$$\rho = a.T + b$$

Sendo a o coeficiente angular e b a intercepção com o eixo vertical (coeficiente linear), ou seja, a suposição da densidade para quando a temperatura é $0^\circ C$. Estes dados são extraídos por uma regressão linear, cujos coeficientes são calculados por:

Equação 26 - Coeficiente angular

$$a = \frac{n \sum(T\rho) - \sum T \sum \rho}{n \sum T^2 - (\sum T)^2}$$

Equação 27 - Coeficiente linear

$$b = \bar{\rho} - a\bar{T}$$

4.5 PROCEDIMENTO PARA ACOMPANHAMENTO E MELHORIA DE PERFORMANCE PRODUTIVA

Uma vez que a determinação de densidade permite a definição de padrões de qualidade a serem seguidos, a metrologia é, também, aplicada para averiguar se a produção está, ou não dentro dos parâmetros tomados como referência.

De tal modo, além da densidade, é necessário determinar os outros termos da Equação 12 através de medições complementares:

$$m_{\text{produto-acabado}} = m_{\text{frasco}} + m_{\text{tampa}} + \frac{v_{\text{produto}}}{\rho_{\text{produto}}}$$

Através de dados fornecidos pela empresa, para as colônias, foi possível obter a Tabela 8 com a Equação 1 e Equação 5:

Tabela 8 - Massa de frasco por modelo de colônia

	Massa de frasco (g) por modelo de colônia				
	120 mL	250 mL	500 mL A	500 mL B	1L
1	15,54	22,4114	25,5115	33,8171	37,8111
2	15,5874	22,3708	25,512	33,8213	37,8935
3	15,5285	22,3273	25,569	33,7933	37,8059
4	15,4771	22,3512	25,5325	33,81	37,8102
5	15,4901	22,3723	25,5652	33,8173	37,9086
6	15,4904	22,3512	25,5692	33,7989	37,7848
7	15,4218	22,341	25,5896	33,7957	37,832
8	15,4757	22,3632	25,5636	33,812	37,8573
9	15,5821	22,3356	25,5412	33,8015	37,8492
10	15,5231	22,3294	25,561	33,8129	37,9047
Média	15,51	22,36	25,55	33,81	37,85
Desvio-padrão da média	0,01612	0,00804	0,00825	0,00313	0,01407

Fonte: Elaborado pela autora com dados fornecidos pela empresa.

Reproduzindo os mesmos cálculos, mas para as tampas, obteve-se a Tabela 9:

Tabela 9 - Massa de tampa por modelo de colônia

	Massa de tampa (g) por modelo de colônia				
	120 mL	250 mL	500 mL A	500 mL B	1L
1	3,4595	3,045	-	-	-
2	3,4859	3,0464	-	-	-
3	3,4187	3,0241	-	-	-
4	3,4497	3,0508	-	-	-
5	3,4241	3,0344	-	-	-
6	3,4228	3,0237	-	-	-
7	3,4577	3,0327	-	-	-
8	3,4383	3,0601	-	-	-
9	3,3244	3,0467	-	-	-
10	3,4529	3,0266	-	-	-
Média	3,43	3,04	3,04	3,04	3,04
Desvio-padrão da média	0,01374	0,00395	0,00395	0,00395	0,00395

Fonte: Elaborado pela autora com dados fornecidos pela empresa.

Sendo que a tampa utilizada pelo modelo 250 mL, é a mesma para 500 mL A, 500 mL B e 1L. Com os dados da Tabela 8 e Tabela 9, é possível obter o valor da contribuição da embalagem na massa total, visto na Tabela 10:

Tabela 10 - Massa de embalagem por modelo de colônia

	Massa de embalagem (g) por modelo				
	120 mL	250 mL	500 mL A	500 mL B	1L
Média	18,95	25,39	28,59	36,85	40,88
Incerteza	0,021184097	0,008959817	0,009145746	0,005041853	0,014610569
Soma	18,97	25,40	28,60	36,85	40,90
Resultado	19,0	25,4	28,6	36,9	40,9

Fonte: Elaborado pela autora.

Como meio de adicionar uma margem de segurança, a incerteza foi somada a média. Através dos dados da Tabela 10 somados aos de massa de líquido, é possível estabelecer o valor mínimo de produto acabado. Além disto, esses valores também permitem determinar indiretamente a quantidade volumétrica de produto dentro de um frasco sem precisar abri-lo, através da Equação 28:

Equação 28 - Volume de produto acabado (indireto)

$$v_{amostra,i} = \frac{(m_{amostra,i} - m_{embalagem})}{\rho_{produto}}$$

Sendo $m_{amostra,i}$ a massa de uma unidade aleatória de um certo produto, $\rho_{produto}$ a densidade, $m_{embalagem}$ a massa do material de embalagem (frasco com rótulo e tampa) do modelo do produto, e $v_{amostra,i}$ o volume da amostra.

4.6 PROCEDIMENTO PARA A ELABORAÇÃO DE FERRAMENTAS QUE AUXILIAM A PRODUÇÃO

Como previamente diagnosticado, uma das fontes de desperdício na produção é a falta de conexão de conhecimento, por isso, foi interessante elaborar sistemas visuais (*kanban*) para facilitar a produção e uniformizá-la. De tal forma, aplica-se os conceitos de *heijunka* e *seiketsu*. Partindo do princípio de que o envase é semiautomático, cabe ao funcionário controlar o envase a fim de que a quantidade necessária seja colocada. No entanto, por depender de uma análise visual, é passível de falhas.

Por isso, para auxiliar o colaborador, a autora criou sistemas visuais que guiam o responsável pelo envase de forma objetiva e clara. Para isto, os materiais utilizados foram: Proveta graduada; Frasco vazio do produto e Caneta permanente.

Em cada dia de produção, a autora coletava uma amostra de colônia e media em uma proveta graduada com o volume atestado e mais 5mL, como margem de segurança (visto que a transferência de líquido entre recipientes gera perdas).

Em seguida, preencheu-se o frasco, realizando-se a marcação com a caneta proveniente da altura em que a superfície do líquido estava representando uma faixa mínima. Posteriormente, adicionou-se mais 5 mL, marcando uma outra faixa, a máxima. Enfim, o frasco possui duas faixas que representam um intervalo de alturas. Considerando que os frascos de um mesmo produto, e lote, sejam suficientemente uniformes, a altura da faixa será uma medição qualitativa indireta do volume envasado.

Vale ressaltar que este meio não é ideal quando aplicado unicamente, visto que é uma análise rudimentar, mas serve, principalmente, quando utilizado em associação com uma balança. De tal forma, pode atuar como um indicativo rápido para controle de qualidade. Como exemplo, vê-se na Figura 12 o frasco para a colônia de 125 mL:

Figura 12 - Ferramenta de visualização para envase



Fonte: Elaborado pela autora.

De tal forma, pressupõe-se que este meio facilite o estabelecimento de um padrão visual para que diferentes colaboradores possam realizar o envase de maneira uniforme, os quais também se ressalta o conceito de JIT, uma vez que serve de guia para que apenas a quantidade necessária seja processada.

5 RESULTADOS

5.1 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DA COLÔNIA

Seguindo a metodologia proposta pelos procedimentos experimentais, selecionou-se o lote 17 de colônia, que possui quatro tanques, nos quais a produção é feita em batelada.

Iniciando pelo tanque 1, na Tabela 11 é possível ver os resultados coletados, bem como o tratamento de dados utilizando a Equação 17, Equação 18, Equação 19, Equação 20, Equação 21 e Equação 11 adaptadas para os devidos fins.

Tabela 11 - Medidas 1, 2 e 3 do Tanque 1, lote 17

Tanque 1 - lote 17					
medida	Temperatura (°C)	Massa do picnômetro cheio (g)	Massa de líquido (g)	Densidade absoluta do líquido (g/cm³)	Incerteza da medida (g/cm³)
1	15	87,1338	49,5097	0,9651	7,39127E-05
	20	86,9824	49,3583	0,9621	7,36876E-05
	25	86,8486	49,2245	0,9595	7,34887E-05
	30	86,7133	49,0892	0,9569	7,32876E-05
2	15	87,1372	49,5131	0,9651	7,39178E-05
	20	87,0261	49,402	0,9630	7,37526E-05
	25	86,89	49,2659	0,9603	7,35503E-05
	30	86,7073	49,0832	0,9568	7,32787E-05
3	15	87,1375	49,5134	0,9652	7,39182E-05
	20	87	49,3759	0,9625	7,37138E-05
	25	86,8781	49,254	0,9601	7,35326E-05
	30	86,7319	49,1078	0,9572	7,33152E-05

Fonte: Elaborado pela autora.

Com os dados da **Tabela 11** aplicados na Equação 19, Equação 20, Equação 21, Equação 22, Equação 23 e Equação 24; obtém-se a Tabela 12:

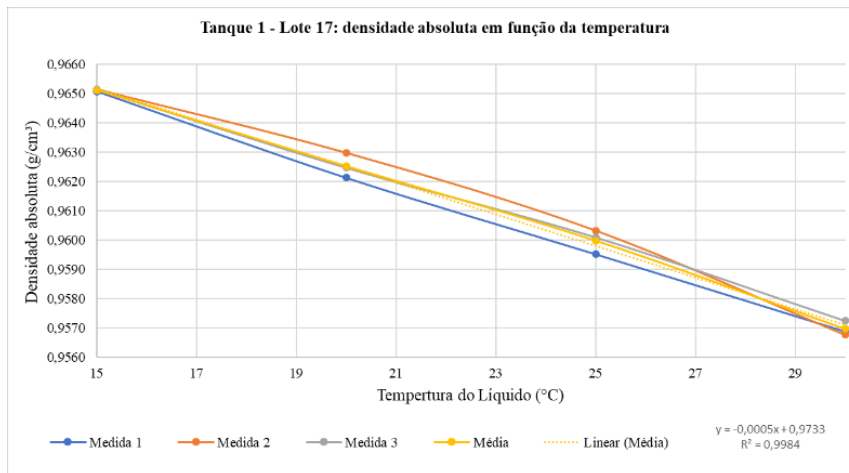
Tabela 12 - Média do Tanque 1, lote 17

	T (°C)	$\overline{m}_{pc,T}$ (g)	$S_{\overline{m}_{pc,T}}$ (g)	$\overline{m}_{liq,T}$ (g)	$S_{\overline{m}_{liq,T}}$ (g)	$\overline{\rho}_T$ (g/cm ³)	$S_{\overline{\rho}_T}$ (g/cm ³)
MÉDIA	15	87,1362	0,001190705	49,5121	0,001211519	0,96513	7,74501E-05
	20	87,0028	0,012694793	49,3787	0,012696762	0,96253	0,000258197
	25	86,8722	0,012306277	49,2481	0,012308308	0,95998	0,000250891
	30	86,7175	0,007406079	49,0934	0,007409453	0,95697	0,000161893

Fonte: Elaborado pela autora.

Através dos dados da Tabela 11 e Tabela 12, juntamente com a aplicação da Equação 25, Equação 26 e Equação 27; é possível traçar um gráfico com o perfil das três medidas, a média e sua linearização. Vide a Figura 13:

Figura 13 - Gráfico: densidade em função da temperatura, Tanque 1, lote 17



Fonte: Elaborado pela autora.

A equação da linearização representada graficamente para o tanque 1 é dada pela Equação 29:

Equação 29 - Densidade em função da temperatura para o tanque 1

$$\rho_{tanque\ 1} = -0,00054 \left(\frac{g}{cm^3 \cdot ^\circ C} \right) \times (T) + 0,9733 \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

$$R^2 = 0,9984$$

O mesmo procedimento de coleta e tratamento de dados visto na Tabela 11 é repetido para o tanque 2, resultando na Tabela 13:

Tabela 13 - Medidas 1, 2 e 3 do Tanque 2, lote 17

Tanque 2 - lote 17					
medida	Temperatura (°C)	Massa do picnômetro cheio (g)	Massa de líquido (g)	Densidade absoluta do líquido (g/cm³)	Incerteza da medida (g/cm³)
1	15	87,1706	49,5465	0,9658	7,39674E-05
	20	87,0279	49,4038	0,9630	7,37553E-05
	25	86,9188	49,2947	0,9609	7,35931E-05
	30	86,7925	49,1684	0,9584	7,34053E-05
2	15	87,1802	49,5561	0,9660	7,39817E-05
	20	87,0584	49,4343	0,9636	7,38006E-05
	25	86,9013	49,2772	0,9606	7,35671E-05
	30	86,744	49,1199	0,9575	7,33332E-05
3	15	87,1627	49,5386	0,9656	7,39557E-05
	20	87,0628	49,4387	0,9637	7,38072E-05
	25	86,9296	49,3055	0,9611	7,36091E-05
	30	86,766	49,1419	0,9579	7,33659E-05

Fonte: Elaborado pela autora.

Igualmente, a Tabela 14 é obtida seguindo os cálculos da Tabela 12, porém para os novos dados:

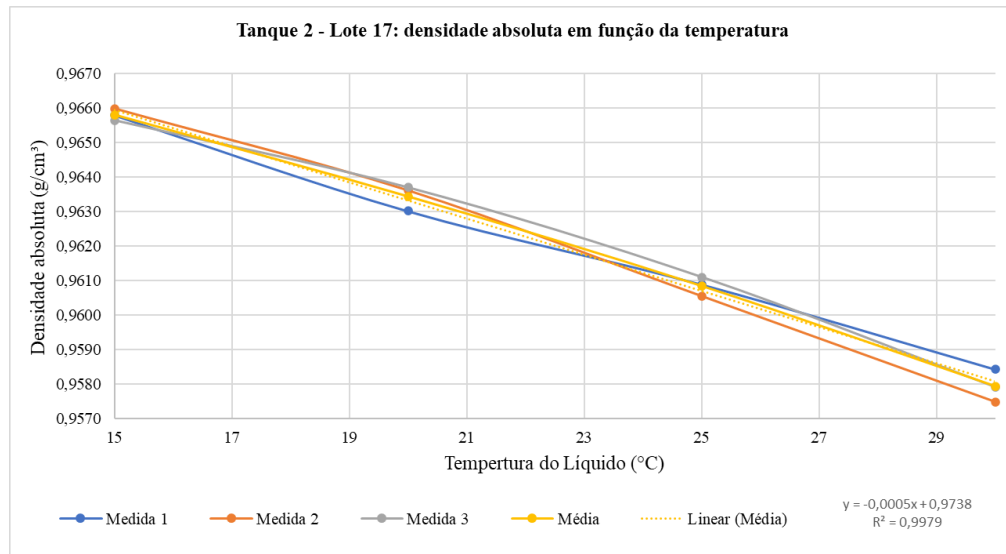
Tabela 14 - Média do Tanque 2, lote 17

MÉDIA	T (°C)	$\overline{m}_{pc,T}$ (g)	$S_{\overline{m}_{pc,T}}$ (g)	$\overline{m}_{liq,T}$ (g)	$S_{\overline{m}_{liq,T}}$ (g)	$\overline{\rho}_T$ (g/cm ³)	$S_{\overline{\rho}_T}$ (g/cm ³)
	15	87,1712	0,005060742	49,5471	0,00506568	0,96581	0,000123284
20	87,0497	0,010974212	49,4256	0,01097649	0,96344	0,000226278	
25	86,9166	0,008246077	49,2925	0,008249108	0,96085	0,000176773	
30	86,7675	0,014021174	49,1434	0,014022957	0,95794	0,000282981	

Fonte: Elaborado pela autora.

Com isso, é possível plotar o gráfico visto na Figura 14, o qual é feito conforme os dados da Tabela 13 e Tabela 14, bem como, com os mesmos cálculos aplicados para a Figura 13:

Figura 14 - Gráfico: densidade em função da temperatura, Tanque 2, lote 17



Fonte: Elaborado pela autora.

Repetindo o tratamento de dados de linearização para a Equação 29 – ao aplicar para as condições do tanque 2, resulta-se na Equação 30:

Equação 30 - Densidade em função da temperatura para o tanque 2

$$\rho_{\text{tanque 2}} = -0,00052 \left(\frac{g}{cm^3 \cdot ^\circ C} \right) \times (T) + 0,9738 \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

$$R^2 = 0,9979$$

Seguidamente, o procedimento realizado para a Tabela 11 e Tabela 13 é repetido para o tanque 3, obtendo-se a Tabela 15:

Tabela 15 - Medidas 1, 2 e 3 do Tanque 3, lote 17

medida					
Tanque 3 - lote 17					
	Temperatura (°C)	Massa do picnômetro cheio (g)	Massa de líquido (g)	Densidade absoluta do líquido (g/cm³)	Incerteza da medida (g/cm³)
1	15	87,1603	49,5362	0,9656	7,39521E-05
	20	87,0476	49,4235	0,9634	7,37846E-05
	25	86,9057	49,2816	0,9606	7,35736E-05
	30	86,7488	49,1247	0,9576	7,33404E-05
	Temperatura (°C)	Massa do picnômetro cheio (g)	Massa de líquido (g)	Densidade absoluta do líquido (g/cm³)	Incerteza da medida (g/cm³)
2	15	87,1689	49,5448	0,9658	7,39649E-05
	20	87,0346	49,4105	0,9631	7,37652E-05
	25	86,9185	49,2944	0,9609	7,35926E-05
	30	86,7468	49,1227	0,9575	7,33374E-05
	Temperatura (°C)	Massa do picnômetro cheio (g)	Massa de líquido (g)	Densidade absoluta do líquido (g/cm³)	Incerteza da medida (g/cm³)
3	15	87,1601	49,536	0,9656	7,39518E-05
	20	87,0523	49,4282	0,9635	7,37915E-05
	25	86,9123	49,2882	0,9608	7,35834E-05
	30	86,7601	49,136	0,9578	7,33572E-05

Fonte: Elaborado pela autora.

De igual maneira, a Tabela 16 é feita com os mesmos cálculos efetuados para a Tabela 14 e Tabela 12:

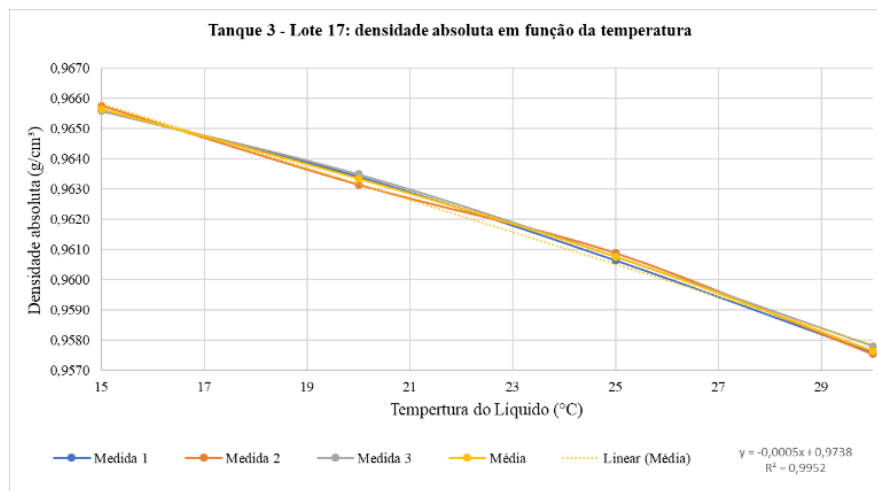
Tabela 16 - Média do Tanque 3, lote 17

MÉDIA	T (°C)	$\overline{m}_{pc,T}$ (g)	$S_{\overline{m}_{pc,T}}$ (g)	$\overline{m}_{liq,T}$ (g)	$S_{\overline{m}_{liq,T}}$ (g)	$\overline{\rho}_T$ (g/cm ³)	$S_{\overline{\rho}_T}$ (g/cm ³)
	15	87,1631	0,002902298	49,5390	0,002910899	0,96565	9,30931E-05
20	87,0448	0,005294442	49,4207	0,005299161	0,96335	0,000126849	
25	86,9122	0,003696996	49,2881	0,003703752	0,96076	0,000102976	
30	86,7519	0,004141658	49,1278	0,00414769	0,95764	0,000109057	

Fonte: Elaborado pela autora.

Assim como, feito para a Figura 13 e Figura 14, tem-se o gráfico dado pela Figura 15 representando as informações para o tanque 3:

Figura 15 - Gráfico: densidade em função da temperatura, Tanque 3, lote 17



Fonte: Elaborado pela autora.

Reproduzindo o tratamento de dados para o tanque 1 e 2, tem-se a linearização dada pela Equação 31:

Equação 31 - Densidade em função da temperatura para o tanque 3

$$\rho_{tanque\ 3} = -0,00053 \left(\frac{g}{cm^3 \cdot ^\circ C} \right) \times (T) + 0,9738 \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

$$R^2 = 0,9952$$

Finalmente, para o último tanque, reproduz-se o tratamento de dados da Tabela 11, Tabela 13 e Tabela 15; resultando na Tabela 17:

Tabela 17 - Medidas 1, 2 e 3 do Tanque 4, lote 17

Tanque 4 - lote 17					
medida	Temperatura (°C)	Massa do picnômetro cheio (g)	Massa de líquido (g)	Densidade absoluta do líquido (g/cm ³)	Incerteza da medida (g/cm ³)
1	15	87,1231	49,499	0,9649	7,38968E-05
	20	87,0316	49,4075	0,9631	7,37608E-05
	25	86,8582	49,2341	0,9597	7,3503E-05
	30	86,6917	49,0676	0,9565	7,32555E-05
2	15	87,132	49,5079	0,9650	7,391E-05
	20	87,0165	49,3924	0,9628	7,37383E-05
	25	86,8791	49,255	0,9601	7,35341E-05
	30	86,7038	49,0797	0,9567	7,32735E-05
3	15	87,1335	49,5094	0,9651	7,39123E-05
	20	87,007	49,3829	0,9626	7,37242E-05
	25	86,8506	49,2265	0,9596	7,34917E-05
	30	86,6914	49,0673	0,9565	7,3255E-05

Fonte: Elaborado pela autora.

Assim como para a Tabela 12, Tabela 14 e Tabela 16, com os dados do tanque 4, tem-se a Tabela 18:

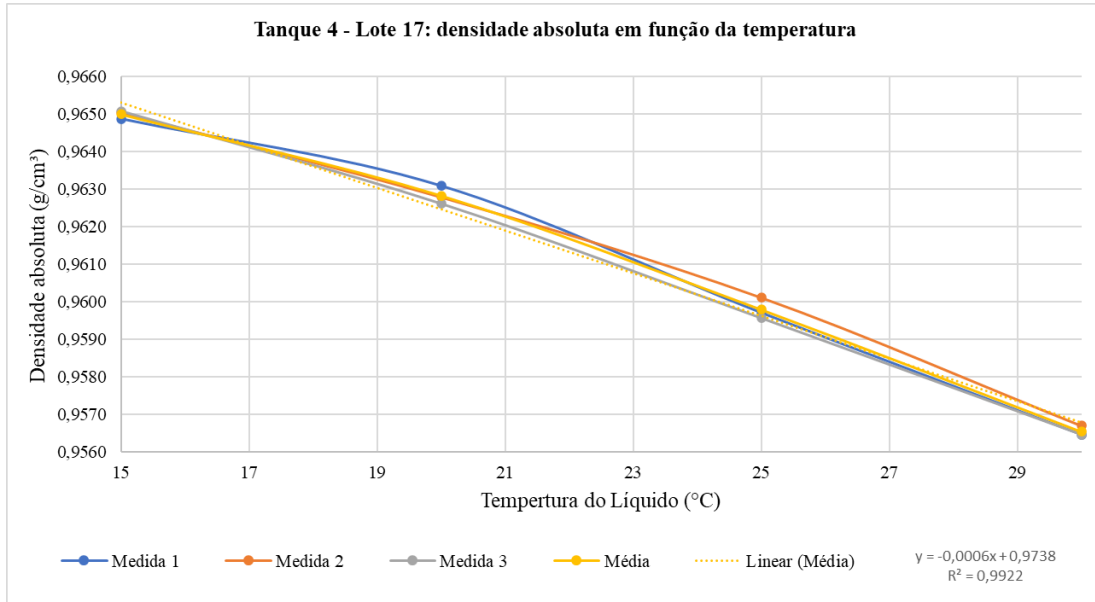
Tabela 18 - Média do Tanque 4, lote 17

	T (°C)	$\overline{m_{pc,T}}$ (g)	$S_{\overline{m_{pc,T}}}$ (g)	$\overline{m_{liq,T}}$ (g)	$S_{\overline{m_{liq,T}}}$ (g)	$\overline{\rho_T}$ (g/cm ³)	$S_{\overline{\rho_T}}$ (g/cm ³)
MÉDIA	15	87,1631	0,002902298	49,5390	0,002910899	0,96565	9,30931E-05
	20	87,0448	0,005294442	49,4207	0,005299161	0,96335	0,000126849
	25	86,9122	0,003696996	49,2881	0,003703752	0,96076	0,000102976
	30	86,7519	0,004141658	49,1278	0,00414769	0,95764	0,000109057

Fonte: Elaborado pela autora.

De tal forma, obtém-se igualmente um gráfico como posteriormente feito para os demais tanques:

Figura 16 - Gráfico: densidade em função da temperatura, Tanque 4, lote 17



Fonte: Elaborado pela autora.

Enfim, a equação da linearização dos dados para o tanque 4 é dado pela Equação 32:

Equação 32 - Densidade em função da temperatura para o tanque 4

$$\rho_{\text{tanque 4}} = -0,00057 \left(\frac{g}{cm^3 \cdot ^\circ C} \right) \times (T) + 0,9738 \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

$$R^2 = 0,9922$$

Considerando os dados coletados para os quatro tanques, realiza-se uma média dos dados para cada temperatura, além de cálculos utilizando a Equação 19, Equação 20, Equação 21, Equação 22 e Equação 23, resultando-se na Tabela 19:

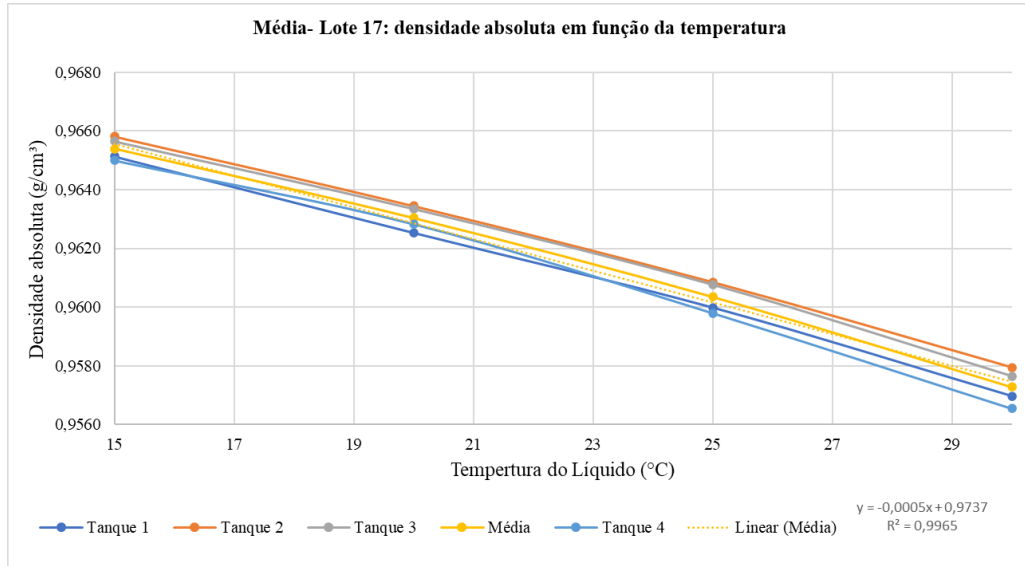
Tabela 19 - Média do lote 17 de colônia

	T (°C)	$\overline{m_{pc,T}}$ (g)	$S_{\overline{m_{pc,T}}}$ (g)	$\overline{m_{liq,T}}$ (g)	$S_{\overline{m_{liq,T}}}$ (g)	$\overline{\rho_T}$ (g/cm³)	$S_{\overline{\rho_T}}$ (g/cm³)
MÉDIA	15	87,1500	0,010124241	49,5259	0,01012671	0,96540	0,000220249
	20	87,0289	0,011094476	49,4048	0,01109673	0,96304	0,000258713
	25	86,8909	0,013719262	49,2668	0,013721084	0,96035	0,000307567
	30	86,7331	0,016289124	49,1090	0,016290659	0,95727	0,000366984

Fonte: Elaborado pela autora.

Realizando a regressão linear através da Equação 26, Equação 27 e Equação 25; obtém-se a Figura 17 e a Equação 33:

Figura 17 - Densidade em função da temperatura média para o lote 17



Fonte: Elaborado pela autora.

Sendo a linearização da média dada pela Equação 33:

Equação 33 - Densidade em função da temperatura, lote 17

$$\rho_{m\acute{e}dia} = -0,00054 \left(\frac{g}{cm^3 \cdot ^\circ C} \right) \times (T) + 0,9737 \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

$$R^2 = 0,9965$$

Como se trata de uma média, é interessante analisar como os doze dados coletados de densidade para cada temperatura estão distribuídos ao redor dela. De tal forma, para obter a curva de Gauss, utiliza-se a Equação 10 e Equação 9.

Sendo assim, para 15°C, os valores de densidade em todos os tanques são compilados na Tabela 20:

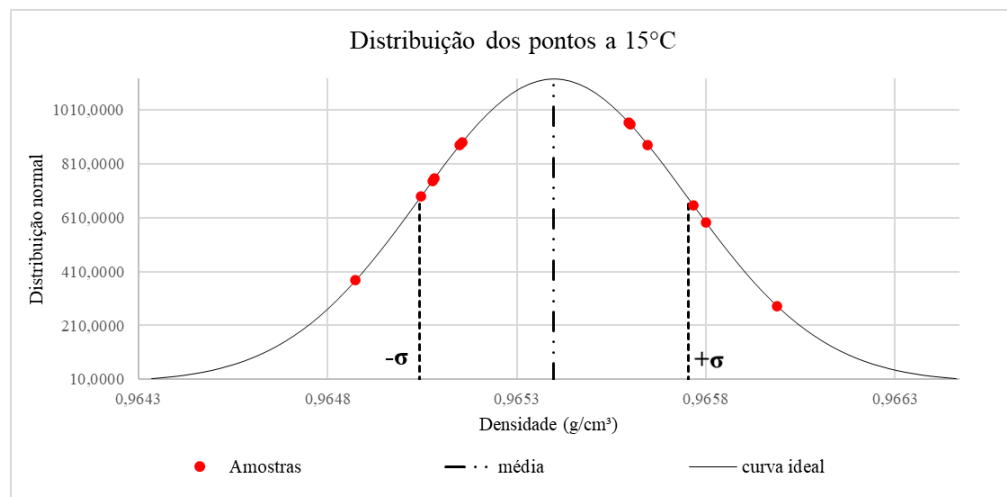
Tabela 20 - Distribuição normal a 15°C

T=15°C	Densidade (g/cm ³)	Distribuição normal
1	0,9649	377,0372
2	0,9650	690,0514
3	0,9651	746,2277
4	0,9651	757,3812
5	0,9651	879,1644
6	0,9652	889,3125
7	0,9656	964,8270
8	0,9656	958,8843
9	0,9656	881,9957
10	0,9658	655,6229
11	0,9658	592,2559
12	0,9660	283,0976
média	0,96540	1126,14347
desvio-padrão	0,00035	

Fonte: Elaborado pela autora.

A curva de Gauss, para os valores de densidade a 15°C, podem ser vistos na Figura 18:

Figura 18 - Distribuição normal a 15°C



Fonte: Elaborado pela autora.

Como é disposto, oito de doze pontos estão dentro do intervalo entre $+\sigma$ e $-\sigma$; ou seja, 66%.

Para, 20°C, os valores de densidade registrados podem ser conferidos na Tabela 21:

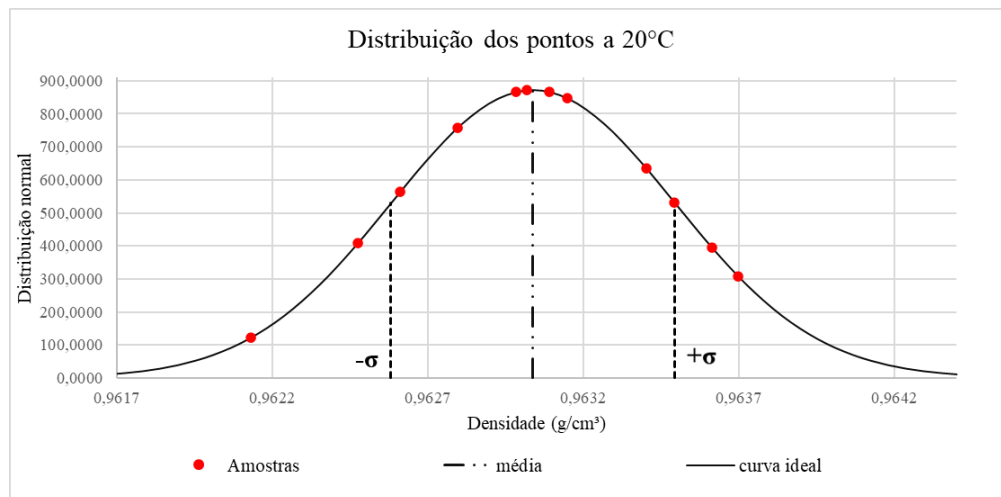
Tabela 21 - Distribuição normal a 20°C

T=20°C	Densidade (g/cm ³)	Distribuição normal
1	0,9621	121,8100
2	0,9625	407,7419
3	0,9626	563,6991
4	0,9628	758,6169
5	0,9630	866,8025
6	0,9630	872,3076
7	0,9631	867,5256
8	0,9631	848,0202
9	0,9634	635,9759
10	0,9635	531,3701
11	0,9636	396,3520
12	0,9637	307,6065
média	0,96304	873,15527
desvio-padrão	0,00046	

Fonte: Elaborado pela autora.

Com isso, a 20°C a curva de Gauss é dada pela Figura 19:

Figura 19 - Distribuição normal a 20°C



Fonte: Elaborado pela autora.

Como permanece disposto visualmente, neste caso, também oito de doze pontos estão dentro do intervalo entre $+\sigma$ e $-\sigma$; ou seja, 66%.

Para 25°C, as densidades registradas são retratadas na Tabela 22:

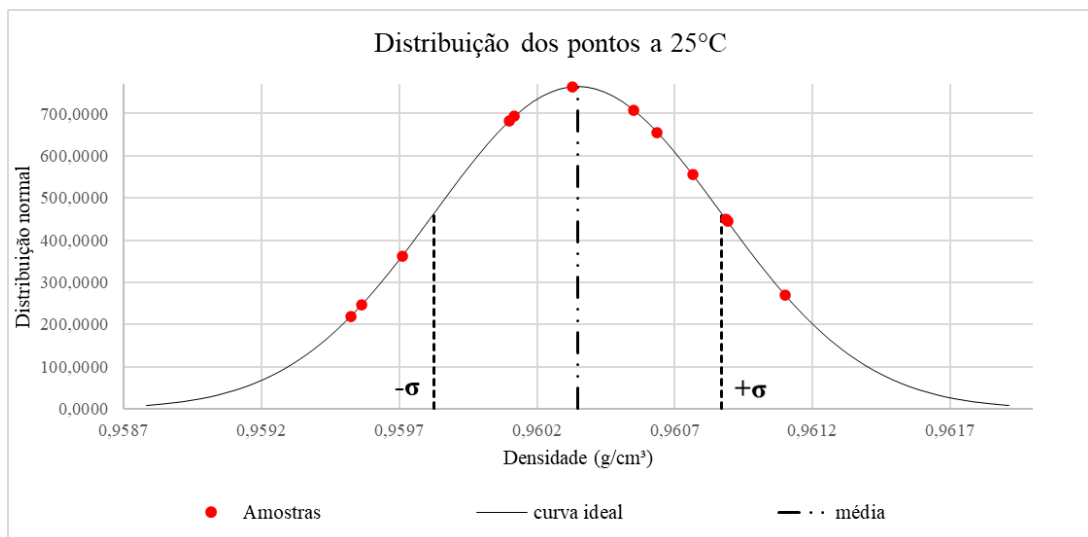
Tabela 22 - Distribuição normal a 25°C

T=25°C	Densidade (g/cm ³)	Distribuição normal
1	0,9595	219,6347
2	0,9596	246,4338
3	0,9597	362,7567
4	0,9601	681,8016
5	0,9601	693,5909
6	0,9603	763,8367
7	0,9606	708,7777
8	0,9606	656,0716
9	0,9608	555,4436
10	0,9609	449,4611
11	0,9609	444,2760
12	0,9611	269,1264
média	0,96035	764,26795
desvio-padrão	0,00052	

Fonte: Elaborado pela autora.

De tal forma, a curva de Gauss a 25°C é ilustrada na Figura 20:

Figura 20 – Distribuição normal a 25°C



Fonte: Elaborado pela autora.

Neste caso, apenas seis de doze pontos estão dentro do intervalo entre $+\sigma$ e $-\sigma$; ou seja, 50%.

Por fim, as densidades para 30°C podem ser vistas na Tabela 23:

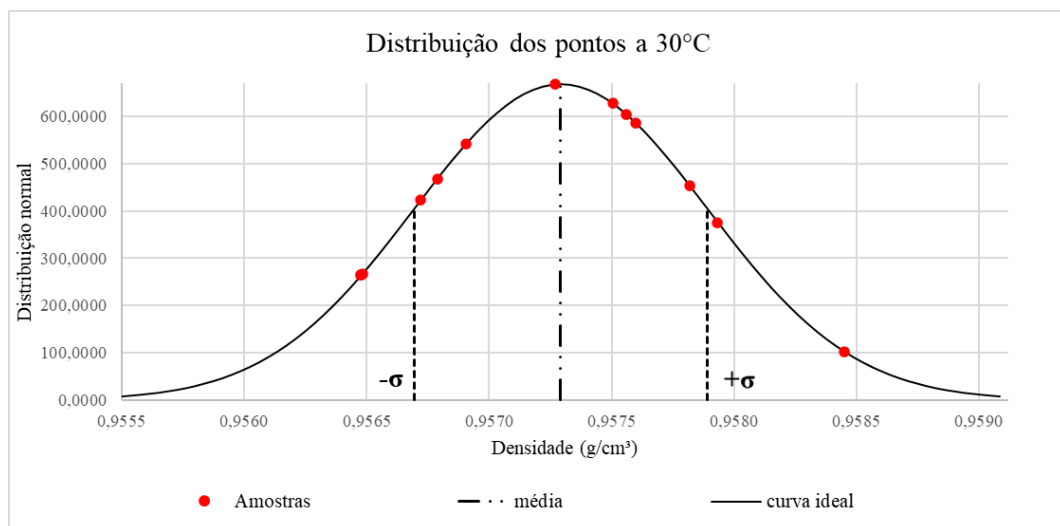
Tabela 23 - Distribuição normal a 30°C

T=30°C	Densidade (g/cm ³)	Distribuição normal
1	0,9565	264,2204
2	0,9565	267,7556
3	0,9567	422,5129
4	0,9568	468,2849
5	0,9569	541,8769
6	0,9572	667,6574
7	0,9575	627,4607
8	0,9575	604,9147
9	0,9576	586,3022
10	0,9578	453,5927
11	0,9579	375,8330
12	0,9584	102,2181
média	0,95727	668,19867
desvio-padrão	0,00060	

Fonte: Elaborado pela autora.

Juntamente com a curva de Gauss, para 30°C, vide a Figura 21:

Figura 21 - Distribuição normal 30°C



Fonte: Elaborado pela autora.

Oito de doze pontos estão dentro do intervalo entre $+\sigma$ e $-\sigma$; ou seja, 66%.

Sabendo-se que em uma curva de Gauss, em condições normais, espera-se que aproximadamente 68% dos dados estejam entre $+\sigma$ e $-\sigma$, existe a possibilidade de inferir que o comportamento dos dados experimentais não é ideal. Porém, essa consequência era esperada, visto que a quantidade de dados tirados não foi expressiva.

Não obstante, para todas as temperaturas, 100% dos dados estavam localizados dentro do intervalo de $+2\sigma$ e -2σ . Com isso, 2σ é uma margem de segurança interessante para ser adotada.

Considerando a Equação 12, dada por:

$$m_{\text{produto-acabado}} = m_{\text{frasco}} + m_{\text{tampa}} + \frac{v_{\text{produto}}}{\rho_{\text{produto}}}$$

Vê-se que, para massa de tampa, massa de frasco e volume constantes, a variável que influencia a massa de produto-acabado é a densidade. Logo, conforme expressa a equação, a massa de produto acabado é diretamente proporcional a densidade.

Como consequência, o valor de densidade adotado deve garantir que o volume envasado seja igual ou superior à quantidade atestada no frasco. Apesar disto, não é recomendado utilizar valores extremamente próximos do mínimo, mas sim, com uma margem de segurança.

De tal forma, a adoção de $+2\sigma$, além de servir como garantia de valores seguros para que o consumidor não seja lesado – também serve como margem de segurança para as incertezas dos cálculos. Vide a Tabela 24:

Tabela 24 - Densidade adotando margem de segurança

T (°C)	ρ (g/cm ³)	σ (g/cm ³)	$\rho + 2\sigma$ (g/cm ³)
15	0,96540	0,00035	0,96611
20	0,96304	0,00046	0,96395
25	0,96035	0,00052	0,96139
30	0,95727	0,00060	0,95847

Fonte: Elaborado pela autora.

Realizando a regressão linear para esses novos valores através da Equação 25, Equação 26 e Equação 27, tem-se a Equação 34:

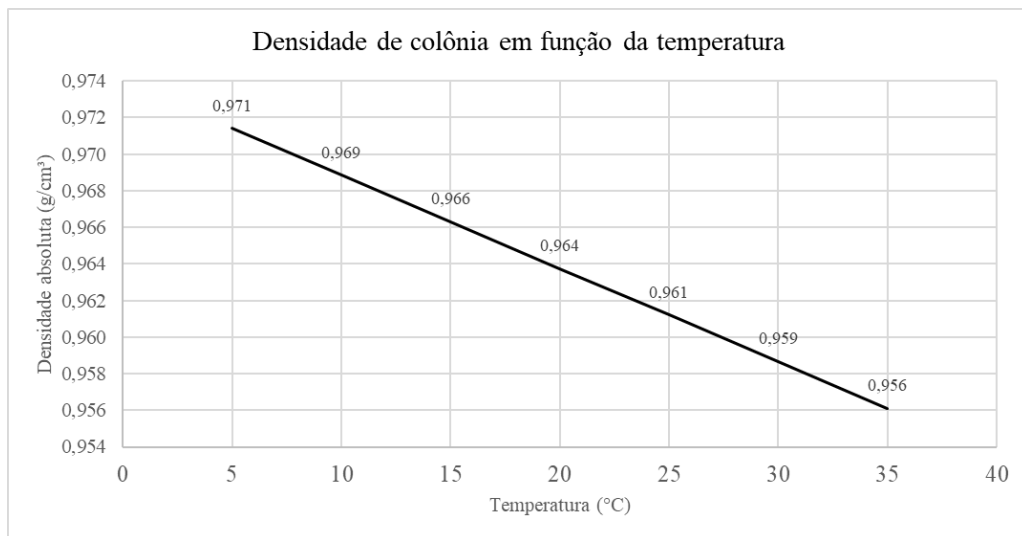
Equação 34 - Densidade em função da temperatura adotando margem de segurança

$$\rho_{+2\sigma} = -0,00051 \left(\frac{g}{cm^3 \cdot ^\circ C} \right) \times (T) + 0,9739 \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

$$R^2 = 0,9954$$

Esta equação será tomada como a fórmula para a densidade da colônia em função da temperatura, que pode ser vista em forma gráfica na Figura 22:

Figura 22 - Densidade de colônia em função da temperatura



Fonte: Elaborado pela autora.

A base do gráfico é o intervalo de temperaturas máximas e mínimas registradas na fábrica ao longo dos anos. Esta equação será transformada em valores tabelados para faixas de temperaturas, conforme visto na Tabela 25:

Tabela 25 - Densidades para faixas de temperatura de colônia

T (°C)	ρ (g/cm³)
T < 10	0,971
10 < T < 14	0,969
15 < T < 19	0,966
20 < T < 24	0,964
25 < T < 29	0,961
30 < T < 34	0,959
T > 35	0,956

Fonte: Elaborado pela autora.

A adoção de valores tabelados, ao invés da conversão pela equação, tem como objetivo simplificar a utilização dessas informações durante a produção, evitando-se equívocos, ou mesmo, confusão. Incorporando os valores da Tabela 10 a Tabela 25, é possível fixar valores mínimos de massa de produto acabado para diferentes temperaturas, vistos na Tabela 26:

Tabela 26 - Padronização de massas de produto acabado para colônias

T < 10°C		Massa de produto acabado (g) por modelo			
Massa (g)	120 mL	250 mL	500 mL A	500 mL B	1L
Embalagem	19,0	25,4	28,6	36,9	40,9
Líquido	116,6	242,8	485,7	485,7	1020,0
Total	135,5	268,3	514,3	522,6	1060,9
10°C < T < 14°C		Massa de produto acabado (g) por modelo			
Massa (g)	120 mL	250 mL	500 mL A	500 mL B	1L
Embalagem	19,0	25,4	28,6	36,9	40,9
Líquido	116,3	242,2	484,4	484,4	1017,3
Total	135,2	267,6	513,0	521,3	1058,2
15°C < T < 19°C		Massa de produto acabado (g) por modelo			
Massa (g)	120 mL	250 mL	500 mL A	500 mL B	1L
Embalagem	19,0	25,4	28,6	36,9	40,9
Líquido	116,0	241,6	483,2	483,2	1014,6
Total	134,9	267,0	511,8	520,0	1055,5
20°C < T < 24°C		Massa de produto acabado (g) por modelo			
Massa (g)	120 mL	250 mL	500 mL A	500 mL B	1L
Embalagem	19,0	25,4	28,6	36,9	40,9
Líquido	115,7	240,9	481,9	481,9	1011,9
Total	134,6	266,3	510,5	518,7	1052,8
25°C < T < 29°C		Massa de produto acabado (g) por modelo			
Massa (g)	120 mL	250 mL	500 mL A	500 mL B	1L
Embalagem	19,0	25,4	28,6	36,9	40,9
Líquido	115,3	240,3	480,6	480,6	1009,3
Total	134,3	265,7	509,2	517,5	1050,2
30°C < T < 35°C		Massa de produto acabado (g) por modelo			
Massa (g)	120 mL	250 mL	500 mL A	500 mL B	1L
Embalagem	19,0	25,4	28,6	36,9	40,9
Líquido	115,0	239,7	479,3	479,3	1006,6
Total	134,0	265,1	507,9	516,2	1047,5
T > 35°C		Massa de produto acabado (g) por modelo			
Massa (g)	120 mL	250 mL	500 mL A	500 mL B	1L
Embalagem	19,0	25,4	28,6	36,9	40,9
Líquido	114,7	239,0	478,1	478,1	1003,9
Total	133,7	264,4	506,7	514,9	1044,8

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao final do experimento confirmou-se a hipótese de que a colônia é consideravelmente sensível a temperatura, gerando desdobramentos visíveis no controle de qualidade.

5.2 ACOMPANHAMENTO E MELHORIA DE PERFORMANCE PRODUTIVA

Com os dados definidos na Tabela 26, e pela Equação 28, é possível calcular o excedente aproximado de produto em uma, ou mais unidades, como visto na Tabela 27:

Tabela 27 - Produção de colônia 500 mL A, 27 de set.

Produto	500 mL A	Data	27/09/2022
T (°C)	21,5	Mínimo	
ρ (g/mL)	0,964	Massa (g)	510,5
Embalagem (g)	28,6	Volume (mL)	500
Média	518,8	508,6	8,6
Medida	Massa total (g)	Volume (mL)	Excesso (mL)
1	516	505,7	5,7
2	516	505,7	5,7
3	517	506,8	6,8
4	517	506,8	6,8
5	517	506,8	6,8
6	518	507,8	7,8
7	518	507,8	7,8
8	518	507,8	7,8
9	518	507,8	7,8
10	518	507,8	7,8
11	519	508,8	8,8
12	519	508,8	8,8
13	519	508,8	8,8
14	519	508,8	8,8
15	519	508,8	8,8
16	519	508,8	8,8
17	519	508,8	8,8
18	520	509,9	9,9
19	520	509,9	9,9
20	520	509,9	9,9
21	520	509,9	9,9
22	520	509,9	9,9
23	521	510,9	10,9
24	521	510,9	10,9
25	521	510,9	10,9

Fonte: Elaborado pela autora.

Para esta produção, considerou-se uma densidade de colônia de 0,964 g/mL, referente a faixa de temperatura de 20°C a 24°C. Neste procedimento, retirou-se uma amostra de colônia com um béquer para aferir a temperatura através de um termômetro.

No dia seguinte, repetiu-se o mesmo procedimento para o produto, resultando na Tabela 28:

Tabela 28 - Produção de colônia 500 mL A, 28 de set.

Produto	500 mL A	Data	28/09/2022
T (°C)	22	Mínimo	
ρ (g/mL)	0,964	Massa (g)	510,5
Embalagem (g)	28,6	Volume (mL)	500
Média	520,0	509,9	9,9
Medida	Massa total (g)	Volume (mL)	Excesso (mL)
1	517	506,8	6,8
2	517	506,8	6,8
3	518	507,8	7,8
4	518	507,8	7,8
5	518	507,8	7,8
6	519	508,8	8,8
7	519	508,8	8,8
8	519	508,8	8,8
9	520	509,9	9,9
10	520	509,9	9,9
11	520	509,9	9,9
12	520	509,9	9,9
13	520	509,9	9,9
14	520	509,9	9,9
15	520	509,9	9,9
16	520	509,9	9,9
17	520	509,9	9,9
18	521	510,9	10,9
19	521	510,9	10,9
20	521	510,9	10,9
21	522	512,0	12,0
22	522	512,0	12,0
23	522	512,0	12,0
24	523	513,0	13,0
25	524	514,0	14,0

Fonte: Elaborado pela autora.

Como sugerem os gráficos, a adoção de valores de densidade permite estimar a quantidade de produto em cada frasco. A partir destas informações, é possível definir se os valores estão dentro ou fora do padrão desejado, com facilidade e relativa precisão.

Segundo o balanço diário registrado pela produção, no dia 27 de setembro, 250 dúzias de 500 mL A foram produzidas, enquanto para o dia 28, foram 200. Adotando a média das amostras como os valores do dia, é possível calcular o excedente relativo a um dia de produção. Vide a Tabela 29:

Tabela 29 - Desperdício de produção nos dias 27 e 28 de setembro

Dia de produção	Dz. Produzidas	Und. Produzidas	mL desperdiçados por unidade	L desperdiçados no dia
27/set	250	3000	8,6	25,8
28/set	200	2400	9,9	23,76
			SOMA	49,56

Fonte: Elaborado pela autora.

Foram 49,56 litros de colônia desperdiçados em dois dias, os quais significam a perda de 99 possíveis unidades de 500 mL A, o que é insatisfatório e aponta para uma evidente possibilidade de melhoria e redução de gastos. Além de 49,56 litros de matéria-prima perdidos, são horas de trabalho, processamento e chance de lucro desperdiçados. Além disto, a realização da análise confirma a hipótese dos gestores, alegando-se que os produtos envasados estavam sendo processados em excesso.

6 DISCUSSÃO

Através dos resultados experimentais de densidade de colônia, em função da temperatura, foi possível confirmar a hipótese de que os frascos estavam sendo excessivamente processados. Isso ocorre, principalmente, pelo valor de densidade de colônia adotado ($0,97 \text{ g/cm}^3$), bem como o volume excessivo envasado manualmente pelo colaborador (falha humana).

Vale ressaltar, que $0,97 \text{ g/cm}^3$ não é voltado aos aspectos de malefício, porém, tampouco é o melhor para todas as faixas de temperatura as quais a fábrica está sujeita. Conseqüentemente, a segunda hipótese também é confirmada: a densidade da colônia é variável em função da temperatura. No entanto, existe um adendo; além do fator temperatura, também existe a variação nas condições de manipulação, como expansão do tanque de mistura, variação de matérias-primas, entre outros. Isto se confirma, visto que tanques diferentes de um mesmo lote não possuem a mesma densidade.

Além disso, o procedimento experimental foi capaz de confirmar e quantificar a expressividade da expansão e contração no volume da colônia, podendo variar de valores próximos de $0,955$ até $0,970 \text{ g/cm}^3$ conforme as condições atmosféricas.

Por mais que o procedimento experimental tenha seguido os preceitos da metrologia, a falta de calibração certificada em parte dos equipamentos impede que exista a plena rastreabilidade de incertezas. No entanto, como foram adicionadas margens de segurança relativamente conservadoras, ainda é possível substituir o padrão atual de $0,97 \text{ g/cm}^3$. Todavia, o método não pode ser validado por órgãos fiscalizadores, então, só tem fins de uso interno. Neste aspecto, possibilitou quantificar indiretamente as quantidades de produto envasado com maior precisão, facilitando o acompanhamento da performance produtiva.

Por fim, a aplicação de padrões de controle de qualidade mais enxutos seria capaz de reduzir os desperdícios na produção, questão que atrela a uma das hipóteses apontadas.

Atualmente, portanto, a densidade de colônia tomada como referência é de $0,97 \text{ g/cm}^3$, ou seja, considerando os quatro diferentes modelos de tamanhos de colônia fabricados, tem-se a Tabela 30:

Tabela 30 - Tabela de massas para densidade igual a 0,97 g/cm³

Densidade (g/ml)	0,97
Modelo (mL)	Massa de colônia (g)
120	116
250	243
500	485
1050	1019

Fonte: Elaborado pela autora.

Porém, considerando valores de densidades para faixas de temperaturas, tem-se a Tabela 31:

Tabela 31 - Tabela de massas para densidade variável

	Densidade (g/ml)	0,971	0,969	0,966	0,964	0,961	0,959	0,956
MODELO (mL)	120	117g	116g	116g	116g	115g	115g	115g
	250	243g	242g	242g	241g	240g	240g	239g
	500	486g	485g	483g	482g	481g	480g	478g
	1050	1020g	1017g	1014g	1012g	1009g	1007g	1004g

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 32, vê-se a produção média mensal de cada modelo de colônia com base nos registros de produção:

Tabela 32 - Produção mensal média de colônias

Modelo (mL)	Dúzias/mês	Unidades/mês
120	1075	12900
250	1575	18900
500	1750	21000
1050	1300	15600

Fonte: Elaborado pela autora.

Como consequência, isso significa que a quantidade em massa (teórica), produzida e envasada ao mês, pode ser calculada por uma multiplicação simples. Vide a Tabela 33:

Tabela 33 - Massa de colônia envasada ao mês para densidade igual a 0,97 g/mL

Modelo (mL)	Unidades/mês	Massa (kg)/mês
120	12900	1501,56
250	18900	4583,25
500	21000	10185
1050	15600	15888,6

Fonte: Elaborado pela autora.

Porém, considerando os valores de densidades propostos pela Tabela 25, a massa teórica produzida ao mês, para cada modelo, também muda. Vide a Tabela 34:

Tabela 34 - Massa de colônia envasada ao mês para densidade variável

		Temperatura (°C)						
		T < 10	10 < T < 14	15 < T < 19	20 < T < 24	25 < T < 29	30 < T < 34	T > 35
MODELO (mL)	120	1503kg	1500kg	1495kg	1492kg	1488kg	1485kg	1480kg
	250	4588kg	4579kg	83764kg	4555kg	4541kg	4531kg	4517kg
	500	10196kg	10175kg	10143kg	10122kg	10091kg	10070kg	10038kg
	1050	15905kg	15872kg	15823kg	15790kg	15741kg	15708kg	15659kg

Fonte: Elaborado pela autora.

De tal forma, com esses valores é possível imaginar cenários hipotéticos. Por exemplo, considerando um mês qualquer, e que todos os dias de envase estiveram entre a mesma faixa de temperatura, a economia pode ser desde 6 até 83 dúzias. Vide a Tabela 35:

Tabela 35 - Economia de colônia com base em temperatura

Temperatura: < 10°C				
Modelo (mL)	kg/mês atual	Massa economizada ao mês (kg)	Unidades economizadas ao mês	Dúzias economizadas ao mês
120	1501,56	1,5	13	1
250	4583,25	4,7	19	2
500	10185	10,5	22	2
1050	15888,6	16,4	16	1
Soma	32158,41	33,2	70	6

Temperatura: 10°C < T < 14°C				
Modelo (mL)	kg/mês atual	Massa economizada ao mês (kg)	Unidades economizadas ao mês	Dúzias economizadas ao mês
120	1501,56	6,2	53	4
250	4583,25	18,9	78	7
500	10185	42,0	87	7
1050	15888,6	65,5	64	5
Soma	32158,41	132,6	282	24
Temperatura: 15°C < T < 19°C				
Modelo (mL)	kg/mês atual	Massa economizada ao mês (kg)	Unidades economizadas ao mês	Dúzias economizadas ao mês
120	1501,56	9,3	80	7
250	4583,25	28,4	117	10
500	10185	63,0	130	11
1050	15888,6	98,3	97	8
Soma	32158,41	198,9	425	35
Temperatura: 20°C < T < 24°C				
Modelo (mL)	kg/mês atual	Massa economizada ao mês (kg)	Unidades economizadas ao mês	Dúzias economizadas ao mês
120	1501,56	13,9	121	10
250	4583,25	42,5	177	15
500	10185	94,5	197	16
1050	15888,6	147,4	146	12
Soma	32158,41	298,4	641	53
Temperatura: 25°C < T < 29°C				
Modelo (mL)	kg/mês atual	Massa economizada ao mês (kg)	Unidades economizadas ao mês	Dúzias economizadas ao mês
120	1501,56	17,0	148	12
250	4583,25	52,0	217	18
500	10185	115,5	241	20
1050	15888,6	180,2	179	15
Soma	32158,41	364,7	785	65

Temperatura: T > 30°C				
Modelo (mL)	kg/mês atual	Massa economizada ao mês (kg)	Unidades economizadas ao mês	Dúzias economizadas ao mês
120	1501,56	21,7	189	16
250	4583,25	66,1	277	23
500	10185	147,0	308	26
1050	15888,6	229,3	228	19
Soma	32158,41	464,1	1002	83

Fonte: Elaborado pela autora.

Mesmo que estes valores sejam meramente hipotéticos, pode-se afirmar que utilizar um padrão de controle de qualidade ligeiramente mais preciso, permite uma economia evidente na produção. Assim, comprova a terceira e última hipótese.

Analisando mais profundamente, é possível sugerir que a redução de desperdício resultante da adoção de novos padrões, atravessa a economia de matéria-prima. Mais especificamente, gerar mais unidades de produtos a partir de uma mesma quantidade de fórmula significa reduzir a frequência de compra (e conseqüente espera e atrasos) de materiais, redução no custo unitário (baseado no rendimento do lote), aumento no rendimento de unidades por lote, redução do número de lotes necessários para completar pedidos, redução no tempo desperdiçado entre a execução lotes etc.

Em contrapartida, é válido ressaltar que a implementação dessas sugestões também possui desvantagens, uma vez que qualquer mudança na cadeia fabril gera um rompimento na produção. Em outras palavras, demandaria tempo de treinamento dos funcionários, orientação sobre os novos padrões e para checagem durante a operação.

Finalmente, deve-se lembrar que existem pontos os quais podem ser melhorados e ainda mais aprofundados, principalmente do ponto de vista experimental. Idealmente, a utilização de instrumentos de medida certificadamente calibrados permitiria a rastreabilidade metrológica, e credibilidade consoante às normas nacionais. Também seria interessante realizar a tomada expressiva de amostras durante mais de um ano, para diferentes lotes e tanques, assim fornecendo valores mais significativos.

Além disso, seguir o fundamento do Sistema Lean não significa acatá-lo como um todo, ou seja, por mais que a adoção seja consoante a ideia de uma produção mais enxuta, não implica que a fábrica estará sob o TPS. Isso é evidente, uma vez que implementar tal sistema demanda uma grande transformação estrutural, logística e administrativa, mesmo assim, não deixa de ser um passo na direção correta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da realização de experimentos considerando as propriedades físico-químicas do cosmético estudado, foi possível extrair valores de densidade absoluta em função da temperatura, com maior precisão – graças à metrologia – comprovando-se a segunda hipótese levantada, de que as condições meteorológicas geram um impacto na massa específica do produto.

Uma vez que tais valores possuem uma margem de segurança menos conservadora, permitem o melhor aproveitamento de matérias-primas e, conseqüentemente, menor custo unitário. De tal forma, viabiliza o aumento do lucro através da redução dos custos produtivos, ressaltando-se semelhanças ao fundamento do Sistema *Lean*. Em adição, também foi possível confirmar a primeira hipótese, de que os produtos estavam sendo processados desnecessariamente, considerando-se a fonte mais explícita de desperdício.

De tal forma, o reajuste dos padrões impostos pelo setor de controle de qualidade seria benéfico para à performance. Por fim, a terceira hipótese pode ser suportada através de projeções hipotéticas, confirmando-se que os padrões sugeridos pela autora permitem melhorar os rendimentos quando aplicados. Apesar de que o Sistema *Lean* seja muito mais extenso que as propostas levantadas, e as limitações técnicas presentes, o projeto não deixa de ser relevante na redução de custos para a fábrica alvo do estudo de caso.

REFERÊNCIAS

- Baccan, N., Andrade, J., Godinho, O., & Barone, J. S. *Química Analítica Quantitativa Elementar* (3ª ed.). São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2013.
- Brasil. Ministério da saúde. *Regularização de cosméticos infantis*. Brasília, 2018.
- César, J., Paoli, M.-A., & Andrade, J. A Determinação da Densidade de Sólidos e Líquidos. *Chemkeys*, 2004. (pp. 4-5).
- CNN Brasil. *Mais de 90% das profissões registram menor poder de compra em 2022, aponta CNC*, 2022. Acesso em 10 de Agosto de 2022, disponível em CNN Brasil: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/mais-de-90-das-profissoes-registram-menor-poder-de-compra-em-2022-aponta-cnc/#:~:text=A%20seguir-,Mais%20de%2090%25%20das%20profiss%C3%B5es%20registram%20menor%20poder,compra%20em%202022%2C%20aponta%20CNC&text=Em%20vi>
- Dennis, P. *Produção Lean Simplificada* (2ª ed.). (A. J. Affonso, & D. W. Nowaczyk, Eds.) Porto Alegre, RS, Brasil: Bookman, 2011. Acesso em 8 de Agosto de 2022, disponível em <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788577802913/pageid/3>
- Inmetro. *Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos Fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012)* (3ª ed.). Duque de Caxias, RJ: INMETRO, 2012. Acesso em 12 de Agosto de 2022
- Inmetro. *Gráficos Anuais, 2021*. Acesso em 9 de Novembro de 2022, disponível em Inmetro: <https://tempo.inmet.gov.br/GraficosAnuais/A001>
- Lira, F. A. *Metrologia na Indústria* (10ª ed.). (R. M. Botelho, R. Abranches, & R. A. Santos, Eds.) São Paulo: Érica, 2015. Acesso em 18 de Agosto de 2022, disponível em <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536519869/pageid/2>
- Mendes, A., & Rosário, P. N. *Metrologia e incerteza de medição: conceitos e aplicações* (1ª ed.). Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- Monden, Y. *Sistema Toyota de produção: uma abordagem integrada ao just-in-time* (4ª ed.). (A. J. Affonso, Ed.) Porto Alegre: Bookman, 2015.

Pinto, M. S., Alpiovezza, A., & Righetti, C. *Garantia da Qualidade na Indústria Cosmética*. São Paulo: Cenage Learning, 2012.

Toyota. *Sistema Toyota de Produção (Toyota Production System), 2021?*. Acesso em 9 de Agosto de 2022, disponível em Toyota: <https://www.toyota.com.br/mundo-toyota/toyota-production-system/>

UFABCjr. *5S: O que é a metodologia e como implementar em seu negócio, 2018*. Acesso em 15 de Agosto de 2022, disponível em UFABCjr: https://ufabcjr.com.br/5s-o-que-e-a-metodologia-e-como-implementar-no-seu-negocio/?gclid=Cj0KCQjw3eeXBhD7ARIsAHjssr_J2QtgtYogrAySc-WVMgt1d-xg98UprgO67DSio_Dkg1eIfk0C-AoaAgpzEALw_wcB