

Aplicação da Metodologia DMAIC a um processo de Humidificação de Rolhas

Eduardo Jorge Soares Ferreira

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Paulo Osswald



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

2019-02-07

À minha família e amigos

Resumo

Esta dissertação foi realizada numa unidade de acabamento de rolhas de cortiça, na melhoria de um processo intermédio de humidificação, com o objetivo de controlar mais apertadamente o teor de humidade na rolha antes do processo seguinte.

Nesta fase de produção das rolhas, a humidificação, estas passam por duas etapas: a humidificação propriamente dita, que é feita numa máquina de humidificação e, a fase de estabilização, nos contentores plásticos. A escolha dos *setups* da máquina assentava numa tabela feita empiricamente pelo operador, baseada na sua experiência com a própria máquina e com o processo.

Posteriormente as rolhas são sujeitas a um tratamento de parafinação. Antes de serem parafinadas, a especificação de humidade para as rolhas é de 5,4% a 9% de maneira que, possam chegar ao cliente final, com humidades entre 5% e 8%.

A fase de humidificação das rolhas apresentava capacidade insuficiente, o que comprometia os prazos de entrega aos clientes e também custos inerentes aos reprocessos.

Posto isto, com a utilização de ferramentas *Lean*, do 6 Sigma e da metodologia DMAIC foi possível estudar a fase de humidificação das rolhas na máquina e, envolvido nesse estudo, fez-se um DoE fatorial, com alterações às velocidades e caudais usados nessa mesma máquina, conseguindo-se chegar a uma nova solução para este processo, sem envolver custos para a empresa.

A alteração proposta passou pela modificação dos *setups* da máquina, documentando-se novas instruções de trabalho para a humidificação das rolhas, o que conduziu a uma diminuição de variabilidade das humidades finais das rolhas e a um aumento da capacidade do processo. Com os novos métodos de trabalho conseguiu-se reduzir o valor de DPMO, de 174504 para 5990.

Em suma, o desenvolvimento deste projeto permitiu não só ganhos consideráveis a nível de capacidade, como também permitiu perspetivar alguns estudos que podem trazer ainda mais benefícios ao processo.

Application of DMAIC Methodology to a Corks Humidification Process

Abstract

This dissertation was carried out in a cork stopper finishing unit, in the improvement of an intermediate humidification process, in order to monitor more closely the moisture content in the stopper before the next process.

In the production of stoppers the humidification process was characterized by two stages: The humidification, done in a humidification machine and the stabilization performed in plastic containers. The setups used in the machine were based on a table created empirically by an operator, which focused mainly on his experience with the machine and the process.

Subsequently to this phase the corks were treated with wax, before being paraffinized. The humidity specification for stoppers was 5.4% to 9% so that they could reach the final customer, with humidities between 5% and 8%.

The biggest problem within this process was that the stoppers had insufficient capability, which compromised the delivery times to customers and also costs related to reprocessing.

There was performed a study around these issue using methods such as Lean 6 Sigma and DMAIC. In this a Factorial DoE was applied with changes in velocities and flow rates used in the same machine. This allowed to reach a new solution for this process without involving costs for the company.

The proposed modification changed the setups of the machine, by documenting new working instructions for the humidification of the stoppers, which led to a decrease in the variability of the final humidities of the stoppers and to an increase in the capacity of the process. With the new working methods, the DPMO value was reduced from 174504 to 5990.

The development of this project allowed considerable gains in the capacity of managing this process and allowed to prospect some studies that introduced more benefits to it.

Agradecimentos

Acima de tudo agradeço aos meus pais por todo o apoio que me deram e por toda a esperança que depositaram em mim. Agradeço-lhes pela educação, pelos valores, carinho e confiança que sempre demonstraram e por terem sido os meus maiores pilares ao longo destes anos de faculdade e da vida.

Às minha irmãs, por todo o apoio incondicional, por terem sido sempre uma referência e por todo o papel que tiveram também na minha educação. Aos meus avós por terem também sido sempre uns pilares da família e por, juntamente com os meus pais, me terem facilitado sempre a tarefa tanto na vida como no percurso académico.

Agradeço ao Engenheiro Rui Silva por todo o conhecimento que me transmitiu, pela constante disponibilidade para me ajudar nas ocasiões mais difíceis e pela referência que se tornou.

Ao Professor Paulo Osswald, pela preocupação demonstrada ao longo de todo o projeto, pelos conhecimentos e pela constante disponibilidade e atenção.

Ao Engenheiro José Rei, pelo apoio, pelos conhecimentos transmitidos, pela constante disponibilidade e ajuda, e pela referência que foi e é em projetos deste cariz.

À Cork Supply pela oportunidade de poder trabalhar numa empresa desta dimensão e reconhecimento. Aos seus colaboradores pelo contributo na realização do projeto, em especial à Engenheira Cátia, ao Pedro e ao Fábio que procuraram sempre ajudar-me e ter um papel ativo nas tarefas do projeto. A todos os colaboradores do departamento da produção pela boa disposição, pela disponibilidade e pela amabilidade com que me fizeram sentir em casa.

Ao meu grupo de amigos de longa data e da faculdade, Jaca, Ricardo, Rui, Mingos, Joãozinho, Pacheco, Correia, Chico, Kiko, Rocha, Filipe, Nuno, Toninho, Bruno, Emanuel e Sofia por todos os momentos partilhados, pela amizade incondicional e por serem sempre um escape em tudo o que faço.

A todos os amigos da faculdade por estarem presentes numa das épocas mais inesquecíveis da minha vida. A todos os amigos de Erasmus que foram, por um ano, a minha família e me fizeram sentir em casa.

Por último, mas não menos importante, a todos os amigos do hóquei que fizeram parte do meu crescimento e da minha formação enquanto pessoa, tendo também eles contribuído para ser hoje quem sou.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento Temático	1
1.2	Apresentação da Empresa Cork Supply Portugal	2
1.3	Enquadramento e objetivo do projeto	3
1.4	Metodologia seguida no projeto	4
1.5	Estrutura da dissertação	4
2	Enquadramento Teórico.....	6
2.1	Produção <i>Lean</i>	6
2.1.1	Princípios Básicos	6
2.1.2	Desperdícios.....	7
2.2	Metodologia Seis Sigma.....	8
2.2.1	Origem Seis Sigma.....	8
2.2.2	Seis Sigma.....	9
2.2.3	Seis Sigma a nível dos processos e da melhoria	9
2.2.4	Nível de Seis Sigma.....	10
2.3	Ciclo DMAIC.....	12
2.3.1	Definir	14
2.3.2	Medir.....	15
2.3.3	Analisar.....	16
2.3.4	Melhorar.....	17
2.3.5	Controlar	18
3	Caraterização da situação inicial	19
3.1	Descrição do processo.....	19
3.2	Variáveis do processo.....	26
4	Desenvolvimento e aplicação das soluções propostas	28
4.1	Medir	28
4.1.1	Identificação das entradas e saídas do processo	28
4.1.2	Avaliação e validação do sistema de medição	29
4.1.3	Recolha de dados.....	31
4.1.4	Capacidade do processo inicial	33
4.2	Analisar	36
4.2.1	Diagrama de Ishikawa	36
4.2.2	Identificação das potenciais causas para a ocorrência de variabilidade.....	36
4.2.3	DoE.....	38
4.3	Melhoria	41
4.3.1	Potencial solução para a eliminação das causas fundamentais do problema	41
4.3.2	Avaliação da solução proposta	41
4.3.3	Teste da nova solução.....	42
4.3.4	Elaboração da nova tabela de apoio ao processo de humidificação	44
4.4	Controlar	44
4.4.1	Capacidade do processo após as novas medidas.....	45
4.5	Influência da humidade do ar no processo.....	46
5	Conclusões e perspetivas de trabalhos futuros	48
5.1	Conclusões	48
5.2	Perspetivas de trabalhos futuros.....	49
	Referências	50

Índice de Figuras

Figura 1- Sede da CSP, em São Paio de Oleiros	2
Figura 2- Implementação da metodologia 6 Sigma em empresas mundialmente conhecidas (Fonte: Sung 2003) .	8
Figura 3- Processo com entradas e saídas (adaptado de Sung,2003)	9
Figura 4- Número de peças defeituosas de um processo normalmente distribuído, centrado e com um desvio-padrão definido (Fonte: Breyfogle III, 1999).....	11
Figura 5- Estimativa do número de defeitos considerando uma variação da média do processo de $1,5\sigma$ (Fonte: Breyfogle III, 1999).....	11
Figura 6- Conceito de reprodutibilidade (Down et al., 2010).....	16
Figura 7- Exemplo de Diagrama de Ishikawa	17
Figura 8- Imagem de um <i>ropak</i> fechado; Interior do Ropak.....	19
Figura 9- Higrómetro	21
Figura 10- Máquina de Humidificação de Rolhas	21
Figura 11 – Moega de carga das rolhas na máquina.....	22
Figura 12- Moega de descarga das rolhas e tapete rolante.....	22
Figura 13- Injetores de água	22
Figura 14- Torneiras de regulação de caudal	23
Figura 15- Interruptor de seleção de velocidade da máquina	23
Figura 16- Interruptor de seleção do número de injetores	23
Figura 17- Tabela usada para escolher as especificações da máquina	24
Figura 18- Termo Higrómetro (Aparelho de medição de temperatura e humidade).....	24
Figura 19- Resultados estatísticos devolvidos pelo Minitab nas medições feitas sem luvas	29
Figura 20-Resultados estatísticos devolvidos pelo Minitab nas medições feitas com luvas	30
Figura 21- Exemplo de uma folha de registo de dados, no Excel.....	33
Figura 22- Análise de capacidade do processo, pelo Minitab.....	34
Figura 23-Diagrama de Ishikawa do processo de humidificação das rolhas	Error! Bookmark not defined.
Figura 24- Dados qualitativos colocados no Minitab para análise estatística	38
Figura 25- Gráfico de pareto de análise do processo de humidificação das rolhas, devolvido pelo Minitab.....	39
Figura 26- Gráfico de efeitos principais, devolvido pelo Minitab	40
Figura 27- Dados quantitativos colocados no Minitab para análise estatística	40
Figura 28- Gráfico de análise dos valores reais de humidade e do respetivo valor esperado pela fórmula	41
Figura 29 - Dados recolhidos após utilização da equação formulada.....	43
Figura 30- Gráfico de análise dos valores reais das humidades médias das rolhas e do valor esperado pela fórmula.....	43
Figura 31- Análise comparativa da capacidade do processo antes e depois das novas medidas, pelo Minitab ...	45
Figura 32- Gráfico de variação da humidade média das rolhas na fase de estabilização no <i>ropak</i>	46
Figura 33- Gráfico da variação da humidade do ar no armazém; Gráfico da perda de humidade das rolhas	47
Figura 34 – Legenda inserida com numeração automática a partir do menu: Insert / Caption / Label: Figura).....	Error! Bookmark not defined.

Índice de Tabelas

Tabela 1- Metodologia DMAIC (adaptado de Gryna et al., 2005)	13
Tabela 2- Caudal de água das diferentes combinações da máquina de humificação.....	31
Tabela 3- Velocidade do tapete das diferentes combinações da máquina de humificação	32
Tabela 4- Caudal de água por distância percorrida do tapete, das diferentes combinações de especificações da máquina de humificação	37
Tabela 5- Valor médio das medições feitas, valor médio dos resultados devolvidos pela equação e média das diferenças entre os valores reais e os valores esperados, bem como o respetivo valor de desvio padrão.	42
Tabela 6- Nova tabela de apoio ao processo de humificação.....	44

1 Introdução

1.1 Enquadramento Temático

Desde os tempos mais antigos que a cortiça tem utilidade em variadíssimas aplicações, fundamentalmente devido às suas excelentes propriedades vedantes. No entanto, foi apenas no século XVII que, o francês Don Pierre Pérignon, usou a cortiça pela primeira vez como vedante de garrafas.

A rolha ficou apenas conhecida em Portugal nos inícios do século XVIII, sendo que, desde essa altura, a exploração dos grandes sobreirais na Península Ibérica teve como objetivo a produção de rolhas de cortiça (APCOR, 2018).

A rolha de cortiça, além de ser um material natural, renovável, reutilizável e totalmente reciclável, oferece propriedades físicas, mecânicas e químicas que garantem uma qualidade de vedação compatível com as rigorosas exigências da moderna indústria vinícola.

Nos dias que correm, Portugal surge como o maior produtor e transformador de cortiça da *Quercus suber*, sendo que contribui para cerca de 50% da cortiça mundialmente produzida. Esta matéria-prima representa, sobretudo proveniente do mercado externo, uma valiosa fonte de rendimento (APCOR, 2018).

Atentando na distribuição geográfica, Portugal concentra cerca de 32% da área cultivada mundialmente, o que corresponde a uma área superior a 730 mil hectares.(APCOR, 2018)

É esmagadoramente no sul de Portugal, mais especificamente no Alentejo, que estão concentradas as florestas de sobreiro, que representam 84% das florestas de sobreiro no país (APCOR, 2018).

No Município de Santa Maria da Feira, que pertence a Aveiro, e em Setúbal, estão concentrados 85% e 5%, respetivamente, do setor da indústria corticeira (APCOR, 2018).

Este setor produz cerca de 40 milhões de rolhas por dia e emprega cerca de 8 mil trabalhadores em 600 empresas diferentes. Apesar das diferentes aplicações da cortiça, as rolhas representam mais de 70% do total da sua produção, sendo que, segundo APCOR (2018), cerca de 43,45% é destinado a rolhas de cortiça natural, objeto de estudo deste trabalho.

As rolhas de cortiça natural, consideradas produto de excelência pelos vários especialistas de vinho, são aprimoradas, no que à sua qualidade diz respeito, com a otimização dos seus processos, dos quais faz parte a humidificação das rolhas, processo este abordado no presente trabalho.

1.2 Apresentação da Empresa Cork Supply Portugal

A Cork Supply Portugal (CSP) é uma empresa pertencente ao Grupo Cork Supply (CSG), cuja atividade consiste na produção e comercialização de rolhas de cortiça natural.

O CSG foi fundado em 1982 por Jochen Michalski na reconhecida região vinícola do Norte da Califórnia. Nas três décadas seguintes, sob a liderança pioneira do seu fundador, a empresa multiplicou os seus colaboradores e atividade por todo o mundo.

Foi em 1995 que o grupo fundou a CSP, sediada em São Paio de Oleiros (Figura 1). Nos dias que correm a CSP possui uma produção global e operações de serviço ao cliente por toda a Europa, América do Norte, América do Sul, Austrália e África do Sul, fornecendo os seus produtos, serviços e profissionalismo à indústria vinícola em todas as principais zonas do mundo.



Figura 1- Sede da CSP, em São Paio de Oleiros

Atualmente a Cork Supply é um dos maiores fornecedores de rolhas naturais para a indústria vinícola a nível global, e é o maior fornecedor de rolhas naturais para a América do Norte.

Em Portugal, a Cork Supply detém três unidades fabris, cada uma associada a uma etapa de produção de rolhas de cortiça natural.

É na CSP3, situada no Montijo, que ocorre a etapa de preparação da cortiça. Esta unidade está dedicada à seleção e preparação da cortiça proveniente dos produtores florestais para o processo de cozedura.

Na unidade de São Paio de Oleiros, a CSP1, ocorre a etapa de produção das rolhas naturais. Nesta fábrica procede-se às etapas de lavagem, processo Innocork® e revestimento colorido.

Finalmente, na fábrica de Rio Meão, a CSP2, ocorre o processo de marcação das rolhas, humidificação, tratamento de superfície, embalagem e controlo de qualidade das rolhas para serem entregues ao cliente final.

1.3 Enquadramento e objetivo do projeto

O projeto em questão foi realizado na unidade da CSP2, mais especificamente na parte da produção.

O desenvolvimento do projeto ocorreu essencialmente na secção da humidificação. Aqui é onde se humidificam todas as rolhas naturais que estão destinadas a qualquer cliente, numa máquina de humidificação.

A humidade das rolhas de cortiça para entrega ao cliente final deve estar situada entre os 5% e os 8%, de forma a manter a elasticidade adequada a um bom comportamento na garrafa e a reduzir o potencial risco de desenvolvimento microbiano. Com estes valores de humidade comprometidos, a empresa não consegue vender as rolhas ao cliente.

De seguida as rolhas seguem para o tratamento de superfície e posterior embalamento.

O acerto do processo de humidificação das rolhas era feito de acordo com uma tabela feita empiricamente pelo operário, baseada na sua experiência com a máquina e o processo. O objetivo em relação à humidade das rolhas era garantir que estas estavam no intervalo de humidades de 5,4% a 9% antes do tratamento de superfície, e de 5% a 8% antes do embalamento.

Os *setups* usados na máquina de humidificação não permitiam atingir os resultados pretendidos uma vez que o processo não estava controlado, o que causava uma grande variabilidade e falta de centralidade do processo, pelo número de rolhas fora das especificações.

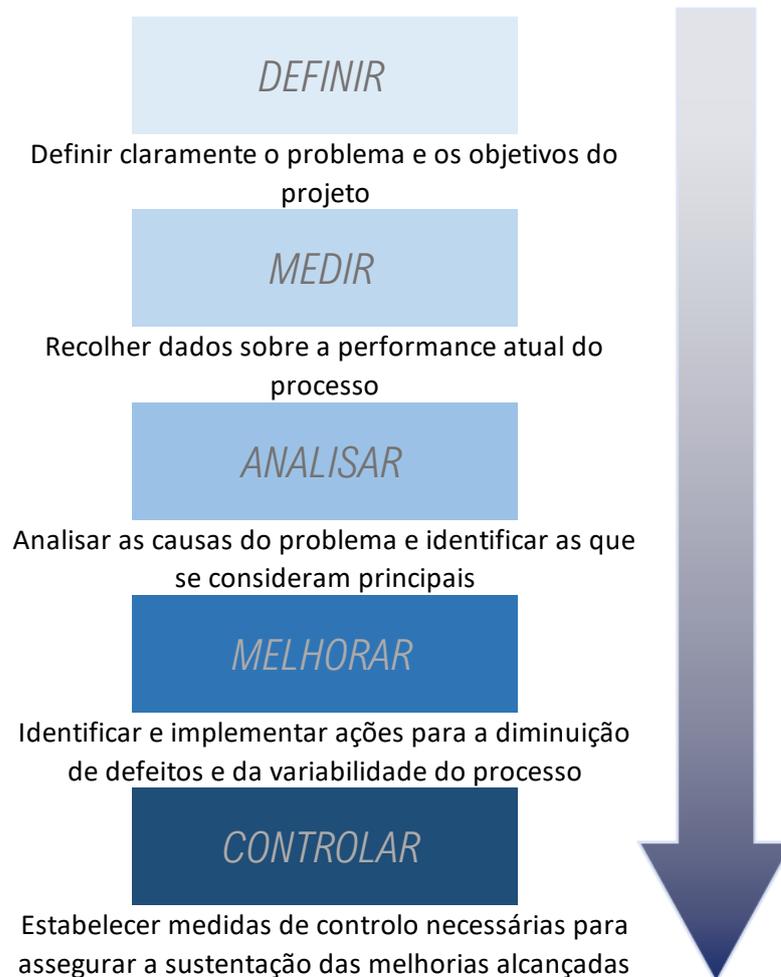
A empresa trabalha num regime *make to order* (MTO), isto é a produção começa logo após a ordem de um cliente ser recebida e aprovada pela empresa. A busca constante por parte da empresa em reduzir os lead times e aumentar os níveis de *on time delivery* (OTD) esbarravam por vezes na fase de humidificar as rolhas.

A ineficácia do processo comprometia os prazos de entrega aos clientes e implicava retratamentos das rolhas (por vezes, tinham que se humidificar mais do que uma vez), devido às não conformidades que havia por estarem fora dos limites de humidades pretendidos.

Sendo assim, o projeto tinha como objetivo estudar os parâmetros relevantes do processo desenvolvendo um modelo que fosse capaz de garantir um aumento da capacidade do processo, evitando assim os reprocessos que estavam inerentes ao modelo inicial.

1.4 Metodologia seguida no projeto

O método e as fases de maior importância seguidas durante a realização do projeto assentaram na metodologia DMAIC (Definir – Medir – Analisar – Melhorar – Controlar).



1.5 Estrutura da dissertação

Relativamente à organização da dissertação, esta está dividida em 5 capítulos principais que, por sua vez, estão divididos em diferentes subcapítulos.

O primeiro capítulo é um capítulo introdutório, em que se apresenta a empresa, as respetivas atividades e produtos, assim como o enquadramento do projeto e a metodologia seguida no mesmo.

De seguida, no capítulo 2, abordam-se os temas teóricos mais relevantes para a elaboração da dissertação, começando pelo sistema de produção *Lean* até à metodologia usada para desenvolvimento do projeto.

No capítulo seguinte, o terceiro capítulo, é feita uma caracterização da situação inicial, detalhando o processo e apresentando os problemas identificados.

O capítulo 4 é referente à metodologia usada no processo, desde cada passo de análise até às melhorias alcançadas e principais resultados.

Finalmente, no capítulo 5, faz-se uma apresentação das principais conclusões do projeto, bem como perspectivas de trabalhos futuros.

2 Enquadramento Teórico

2.1 Produção *Lean*

Este sistema de produção veio ganhar a vez à ideia de produzir em grandes quantidades, de produção em massa. A palavra “*Lean*”, traduzida à letra, significa magra e sistemas *Lean* têm como objetivo produzir a quantidade certa, no momento certo, conseguindo assim maiores níveis de eficiência com menos recursos, menos espaço e menos tempo (Womack e Jones 2003).

2.1.1 Princípios Básicos

Segundo Womack e Jones (2003) um sistema de produção *Lean* pode ser definido em 5 princípios essenciais:

- **Valor:** . esta é a premissa básica para começar a desenvolver algo: deixar o cliente definir o que tem valor no seu produto, isto é, de compreender inequivocamente as necessidades do cliente. Aquilo que ele não está disposto a pagar pelo produto é desperdício e deve ser eliminado.
- **Cadeia de valor:** diz respeito à identificação do conjunto de todas as ações necessárias para se obter um determinado produto, abrangendo todas as tarefas críticas, desde a conceção ao lançamento, da encomenda até à entrega e em especial da transformação da matéria-prima em produto acabado.
- **Fluxo:** passo posterior à criação da cadeia de valor. Deverá privilegiar-se a criação de um fluxo contínuo entre todos os passos da cadeia, de forma a eliminar stocks intermédios, tempos de espera e interrupções.
- **Produção “puxada” (pull):** depois da criação de fluxo, deverá implementar-se este tipo de produção. A encomenda do cliente sinaliza o momento e a quantidade a produzir, ou seja, produz-se apenas a quantidade necessária para satisfazer os requisitos do cliente, minimizando-se assim stocks e desperdícios de produto.

- **Perfeição:** por fim, o conceito central do pensamento *Lean*, isto é, ter sempre presente o conceito de melhoria contínua que consiste na procura contínua da perfeição, com a consciência que esta nunca será amplamente alcançada.

2.1.2 Desperdícios

Quando se aborda um sistema de produção Lean, um dos objetivos principais é a eliminação de desperdício. Assim sendo, segundo Breyfogle (2003), para que a eliminação do muda (termo japonês utilizado para descrever desperdício, ou seja, toda a aplicação desnecessária seja de materiais, tempo ou recursos) seja bem sucedida é fulcral defini-lo claramente, identificar a causa, planejar a sua eliminação e posteriormente tomar as medidas para prevenir o seu reaparecimento.

Acerca do muda, Rich, et al. (2006) cita 7 tipos de desperdícios:

- **Superprodução (ou produção em excesso):** refere-se ao desperdício recorrente da acumulação excessiva de material, não só devido a uma produção em maior quantidade do que a requerida pelo cliente, mas também devido a uma produção antecipada em relação à data objetivo.
- **Stocks:** consequência não só de produção em excesso ou antecipada, mas também de peças semiacabadas que se acumulam entre processos ou postos. Stock representa um custo para empresa, pois é um valor que se encontra a depreciar com o tempo, ocupando espaço e sem retornar qualquer valor para a empresa.
- **Processamento inapropriado:** consiste na existência de etapas no processo que não acrescentam qualquer valor ao produto do ponto de vista do cliente, ou que acrescenta um valor desnecessário.
- **Má qualidade ou defeitos:** refere-se à produção de produtos não conformes, que têm que ser sujeitos a correção ou mesmo sucata. O custo inerente a este tipo de produtos é suportado pela empresa e muitas vezes agravado pelo facto de se converter em horas suplementares de produção e utilização de materiais/produtos extra. Assim sendo o problema da má qualidade ou defeitos está relacionado com todo o tempo e recursos que foram gastos na produção de produtos não conformes, aliado aos custos que daí advêm.
- **Transporte:** refere-se ao transporte de material, produtos ou máquinas ao longo da fábrica, que não acrescentam valor ao produto e ainda têm associado o risco de danificar o que está a ser transportado.
- **Espera:** tempo não produtivo seja de operadores, materiais ou máquinas.

- **Movimentação:** consiste no movimento de pessoas que, por erro na estruturação do processo, não acrescenta valor ao produto final e que por isso se revelam um desperdício.

2.2 Metodologia Seis Sigma

2.2.1 Origem Seis Sigma

A Motorola é uma marca de telecomunicações muito conhecida e referenciada em todo o mundo.

Em 1985, a realidade da Motorola era bastante diferente, sendo que enfrentou alguns desafios por estar associada a várias reclamações de clientes nos períodos de garantia dos produtos.

A empresa estava então com dificuldades de competir com produtos estrangeiros por não conseguir atingir os índices de qualidade desejados. Foi então que, segundo Barney e McCarty (2003), o CEO da empresa, Bob Galvin, estabeleceu como objetivo reduzir a taxa de não conformidade em dez vezes nos cinco anos seguintes.

O plano passava pela capacidade de poder competir globalmente, numa gestão mais participativa e principalmente na melhoria rigorosa e exigente da qualidade. Um dos conceitos fulcrais a adotar era o dos Círculos de Controlo de Qualidade (CCQ) e a partilha desses mesmos resultados com todos os seus colaboradores. Esta metodologia de melhoria de qualidade foi denominada, pelo Eng^o Bill Smith, de Seis Sigma.

O 6 Sigma afirmou-se como a principal razão de sucesso da Motorola após a empresa ter ganho o Malcon Baldrige National Quality Award, em 1988.

Para Harry e Schroedor (2011), foi pela General Eletric (GE) que o 6 Sigma ficou conhecido internacionalmente. A empresa investiu 450 milhões de dólares, entre 1995 e 1996, e, passados dois anos, anunciou um ganho de 2 biliões de dólares devido às iniciativas da implementação do Seis Sigma (Pande et al., 2000).

Também a Allied Signal, que implementou os princípios do 6 Sigma a partir de 1990 com sucesso, economizou 600 milhões de dólares por ano, nos nove anos seguintes. A empresa teve um aumento de produtividade de 6% com uma margem recorde de 13% de lucro (Pande et al., 2000). A Figura 2 ilustra a linha histórica das empresas que adotaram a metodologia 6 Sigma.

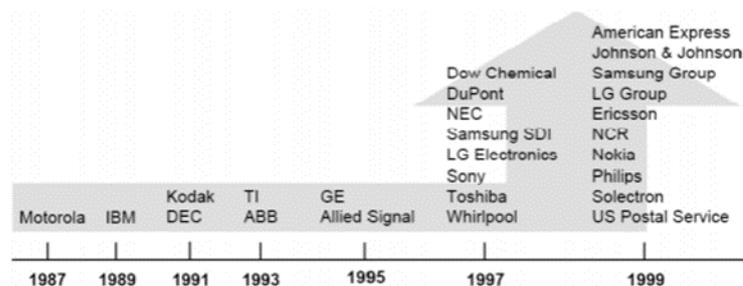


Figura 2- Implementação da metodologia 6 Sigma em empresas mundialmente conhecidas (Fonte: Sung 2003)

2.2.2 Seis Sigma

O 6 Sigma é uma metodologia, altamente disciplinada, estruturada e sistemática na recolha e tratamento de dados através de ferramentas estatísticas. Este método visa a melhoria do desempenho de processos/produtos e a qualidade de um serviço ou produto, valorizado pelo cliente, através da redução da variabilidade nos principais processos e defeitos resultantes. (Kumar et al., 2007).

Numa definição simplista, o Seis Sigma tem como objetivo eliminar defeitos e erros provenientes do processo, reduzindo custos e valorizando o produto para o cliente final.

2.2.3 Seis Sigma a nível dos processos e da melhoria

O 6 Sigma é considerado uma metodologia rigorosa e extremamente eficaz com princípios e técnicas comprovadas. Para Eckes (2001), “A essência do Seis Sigma é a melhoria da eficiência e da eficácia”.

Segundo Sung (2003), como se pode verificar na Figura 3, a transformação de entradas em saídas num fluxo repetitivo, é a definição geral de processos de uma atividade, onde Y representa a variável do resultado (caraterísticas do processo ou do produto), x representa os vários fatores de controlo, e v representa os fatores de ruído.

O foco do processo passa por encontrar os níveis das variáveis de x que originam os valores desejados de Y e, em simultâneo, controlar os fatores de ruído v , para que aquando da sua alteração, o produto final não sofra mudanças significativas.

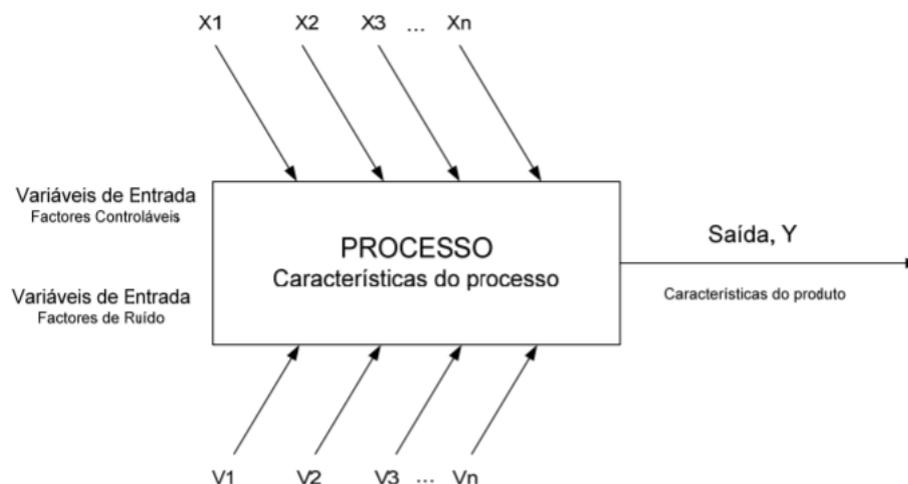


Figura 3- Processo com entradas e saídas (adaptado de Sung,2003)

Pode analisar-se um processo como sendo um sistema que está sujeito a um conjunto de variáveis de entrada (fatores) que dão origem a variáveis de saída (caraterísticas de qualidade). As variáveis de entrada podem ser variáveis controláveis ou variáveis não controláveis .

As variáveis controláveis, tais como pressões, temperaturas, tempos, entre outros, podem ser alteradas como, enquanto que as variáveis não controláveis provocam ruído no processo e são difíceis de controlar. Tem-se como exemplos de variáveis não controláveis, as condições ambientais como humidade e temperatura ou a variação nas propriedades da matéria-prima a transformar. As variáveis de saída são as características de qualidade que são utilizadas para aferir a qualidade do produto (Montgomery, 2009).

O 6 Sigma assenta num princípio em que a redução da variabilidade das entradas se reflete numa redução dos defeitos na saída. As entradas podem ser classificadas como fatores fisicamente controlados ou fatores de ruído. Estes fatores de ruído, por sua vez, podem ser distinguidos por serem incontroláveis, demasiados dispendiosos para controlar, ou simplesmente que não são uma prioridade de controlo.

Há vários tipos de entradas diferentes, entre as quais, materiais, máquinas, decisões, métodos, aparelhos de medida, entre outros.

O foco do processo passa por encontrar os níveis das variáveis de x que originam os valores desejados de Y e, em simultâneo, medir e ter em conta os fatores de ruído v , para que aquando da sua alteração, o produto final não sofra mudanças significativas.

Para Maleyeff e Kaminsky (2002), a ponto-chave do 6 Sigma passa por eliminar os fatores de ruído nos ajustes do equipamento para o processo, criando um sistema em que todos os intervenientes do processo possam recolher, analisar e aplicar de um modo eficaz os resultados obtidos. Pande et al., (2000), defende que não se devem escolher muitas variáveis de controlo para o processo, ou seja, a organização deverá encontrar os fatores mais relevantes e trabalhá-los da melhor forma.

2.2.4 Nível de Seis Sigma

Estatisticamente, o Sigma (σ), é a letra do alfabeto grego utilizada para representar o desvio-padrão de uma variável. O σ indica portanto a variabilidade de um conjunto de valores em relação ao seu valor médio.

Já quando se fala em valores baixos de desvio-padrão, sabe-se que há uniformidade no processo e pouca variação de resultados.

Segundo Pande *et al.*, (2000) a variação é um forte indicador do desempenho real da organização e dos seus processos. Existem várias organizações a medir os seus processos em termos de média, isto é, custo médio, tempo de ciclo médio, produção média, entre outros. Uma das limitações da média é que esta pode ocultar problemas, como por exemplo a variação.

No 6 Sigma, o foco passa por reduzir a variação até que se atinja seis desvios-padrão (6σ) entre o valor nominal e cada um dos limites de especificação definidos para o processo de saída.

Do ponto de vista estatístico, quando se detém de um processo centrado e seguindo uma distribuição normal, 6σ representa, a curto prazo, 0,002 defeitos por milhão (ppm) ou, explicando de outra maneira, corresponde a uma percentagem de produtos em conformidade na ordem dos 99,9999998%.

Na Figura 4 está representado o número de defeitos por milhão para um processo em que os dados estão centrados dentro dos limites e que tem um desvio padrão definido. Considera-se

um produto defeituoso quando este se encontra fora dos limites de especificação superior (LSE) ou inferior (LIE) (Breyfogle III, 1999).

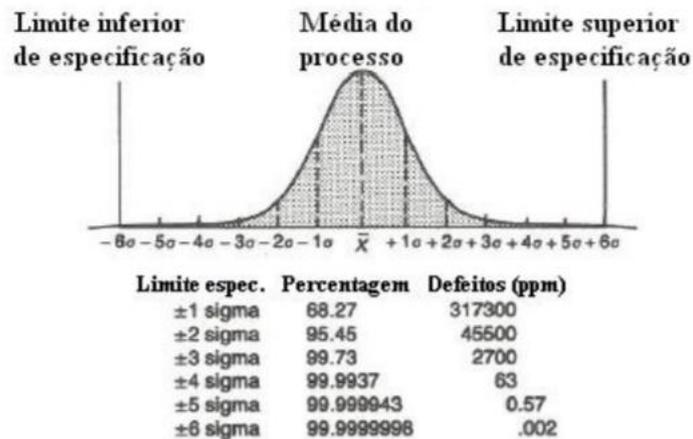


Figura 4- Número de peças defeituosas de um processo normalmente distribuído, centrado e com um desvio-padrão definido (Fonte: Breyfogle III, 1999)

Em ambiente industrial admite-se que a média do processo pode variar $\pm 1,5\sigma$ e, conseqüentemente, o LSE ou o LIE ficam a $4,5\sigma$ da média do processo, o que conduz a 3,4 ppm e 99,99966% dos produtos conforme as especificações (Figura 5).

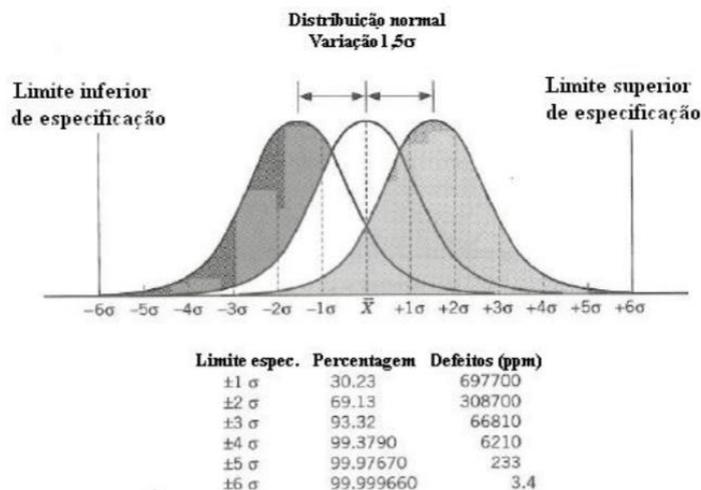


Figura 5- Estimativa do número de defeitos considerando uma variação da média do processo de $1,5\sigma$ (Fonte: Breyfogle III, 1999)

Normalmente as empresas contentam-se com níveis de desempenho de 3σ ou 4σ , mesmo que isso se traduza em 67 mil a 6,2 mil problemas por milhão de oportunidades (DPMO). O padrão 6σ surgiu como uma resposta ao aumento das exigências e expectativas dos clientes e à crescente complexidade dos produtos e processos modernos.

A diferença entre um processo 4σ e 6σ é verdadeiramente notória. Só para que se tenha uma ideia, em termos práticos, se uma companhia de telecomunicações móveis opera a um nível de 4σ , espera-se que o cliente fique fora de serviço mais de 4 horas por mês, enquanto que, se

a empresa operar a um nível 6σ , o cliente não fica mais de 9 segundos mensais fora de serviço (Pande et al., 2000)

Posto isto, o nível Sigma dos processos de uma empresa pode caracterizá-la ao nível do seu desempenho. No entanto, muitas vezes, o objetivo das empresas que implementam o 6σ não passa por atingir a marca dos 3,4 ppm, mas sim por implementar sistematicamente a redução da variabilidade dos seus processos.

Outra das metas das empresas com o uso desta metodologia é a melhoria dos resultados económicos, consequência de uma melhoria de qualidade e redução/eliminação da incidência de erros, defeitos ou falhas num determinado processo.

2.3 Ciclo DMAIC

A metodologia DMAIC, processo de melhoria utilizada na implementação do 6 Sigma, é composta por 5 etapas, que têm o acrónimo de DMAIC, proveniente do Inglês: *Define, Measure, Analyse, Improve e Control* (Pande et al., 2000).

As cinco fases deste ciclo são então:

- **Definir**- Determinar a natureza e definir formalmente o problema;
- **Medir**- Medir o desempenho existente e recolher dados e factos que oferecem informações sobre as causas do problema;
- **Analisar**- Estudar os dados para determinar as causas do problema;
- **Melhorar**- Melhorar o processo, colocando em prática soluções para o problema;
- **Controlar**- Acompanhar o processo até que as soluções se enraízem.

As etapas do ciclo DMAIC estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1- Metodologia DMAIC (adaptado de Gryna et al., 2005)

ESTRUTURA BÁSICA DA METODOLOGIA 6 SIGMA				
DEFINIR	MEDIR	ANALISAR	MELHORAR	CONTROLAR
<i>Problema Teórico</i>	<i>Problema Prático</i>	<i>Problema Estatístico</i>	<i>Solução Estatística</i>	<i>Solução Prática</i>
Principais Objetivos				
Selecionar um projeto e definir objetivamente o problema do ponto de vista do cliente	Recolher dados sobre o desempenho do processo atual	Analisar as causas do problema e identificar as que se consideram principais	Identificar e implementar ações para a diminuição de defeitos e minimização da variabilidade do processo	Estabelecer medidas de controlo necessárias para assegurar a sustentação das melhorias alcançadas
Principais Tarefas				
1. Definir o problema	1. Definir o processo atual	1. identificar as principais fontes de variação do processo	1. Criar ideias de soluções potenciais para a eliminação das causas fundamentais do problema	1. Avaliar o alcance da meta em larga escala
2. Qualificar o projeto	2. Identificar entradas e saídas do processo	2. Selecionar as potenciais causas para ocorrência de variabilidade	2. Avaliar e minimizar os riscos das novas soluções	2. Definir processos de controlo para as principais causas e efeitos do problema
3. Definir os objetivos do Projeto	3. Recolha de dados	3. Demonstrar estatisticamente a importância relativa das potenciais causas de variabilidade	3. Testar em pequena escala as soluções	3. Completar toda a documentação relacionada com o projeto
4. Identificar as partes interessadas e os fatores críticos de sucesso	4. Avaliar e validar métodos de medição	4. Identificar as etapas do processo a serem otimizadas	4. Identificar e implementar melhorias ou ajustes para soluções escolhidas	4. Transmitir os novos padrões a todos os envolvidos
5. Definir a equipa de trabalho e as suas responsabilidades	5. Determinar a capacidade do processo		5. Explorar e executar um plano para a implementação das soluções em larga escala	5. Definir planos futuros de melhoria contínua
6. Lançar um projeto	6. Rever os objetivos do projeto e a definição do problema			
7. Criar um plano de trabalho				

Nesta metodologia são aplicadas ferramentas específicas para resolver os problemas detetados. A ideia passa por converter um problema prático num problema estatístico, gerando posteriormente uma solução estatística e, conseqüentemente, converte-la numa solução prática.

A principal vantagem de optar por este tipo de abordagem é a ênfase que é dada a dois fatores críticos do 6σ , o cliente e as medições.

2.3.1 Definir

O objetivo desta fase é inequivocamente determinar o problema, os requisitos do projeto e os seus objetivos. Os objetivos do projeto devem assentar claramente na estratégia de negócio do cliente e as respetivas exigências do mesmo.

Quando o problema é mal definido, o resultado é o desenvolvimento de solução para falsos problemas, então, nesta primeira fase, é crucial que se responda a algumas questões com alguma certeza (Pande et al.,2000):

- Qual a razão por que se trabalha neste problema em particular e qual o objetivo pretendido?
- Como é realizado o trabalho atualmente e qual o processo relacionado com o problema?
- Quem é o cliente e quais são os seus requisitos?
- Quais são os benefícios que vão estar inerentes a essa melhoria?

Nesta etapa do ciclo deve então identificar-se sem margem para dúvida o que realmente importa para o cliente e os seus requisitos, denominados *Critical to Quality* (CTQ), estruturar uma equipa com o intuito de melhorar o processo e definir as metas criando um mapa de processos, denominado SIPOC. SIPOC é um acrónimo cujo significado é *Supplier* (Fornecedor), *Input* (Entradas), *Process* (Processo), *Output* (Saídas) e *Customer* (Clientes).

Esta técnica de análise assenta em cinco parâmetros:

- **Fornecedor:** partes envolvidas que providenciam as entradas no processo;
- **Entradas:** recursos necessários para que o processo gere as saídas pretendidas;
- **Processo:** as atividades que transformam as entradas em saídas;
- **Saídas:** o resultado do processo;
- **Clientes:** as partes envolvidas que recebem as saídas do processo.

2.3.2 Medir

Esta segunda etapa é onde se estabelece as técnicas para a recolha de dados relativos ao atual desempenho do processo. Os dados recolhidos nesta fase são usados para determinar as fontes de variação e servem de referência para a validação das melhorias.

Nesta fase do ciclo DMAIC valida-se ou redefine-se o problemas antes de se iniciar com a análise das suas causas. Elabora-se também um mapa onde se identifica cada fase do processo, os *Inputs* (X) e os *Outputs* (Y) mais importantes, define-se as especificações do processo, faz-se uma análise do sistema de medição e da sua estabilidade e, finalmente, valida-se o problema existente baseando-se nas medidas recolhidas o (Pande et al.,2000).

A variação na amplitude dos valores recolhidos aquando de uma medição relaciona-se com a dispersão dos valores medidos. Esta variação está relacionada por vezes com os conceitos de repetibilidade e reprodutibilidade. Os estudos de Gage R&R são uma estimativa da variação combinada da repetibilidade e reprodutibilidade.

Repetibilidade

A repetibilidade é indicativa da capacidade de um equipamento de medição quando é sujeito a uma repetição de medição pelo mesmo operador, com o objetivo de analisar o nível de confiança do sistema de medição. Através deste estudo é possível determinar a capacidade do equipamento, originando um sistema de medição mais confiável e verdadeiro. O erro da repetibilidade ocorre quando um operador usa o mesmo aparelho de medida para medir os mesmos elementos e obtém resultados diferentes.

Assim sendo a variabilidade neste parâmetro pode ser devida aos seguintes fatores:

- **Intra Peça:** Forma, posição, acabamento superficial, consistência da amostra;
- **Intra Instrumento:** Fraca qualidade ou manutenção, reparação, desgaste;
- **Intra Padrão:** qualidade, desgaste;
- **Intra Método:** variação na configuração, técnica, manuseamento, ajuste do zero, fixação;
- **Intra Avaliador:** técnica, posição, inexperiência, cansaço ou falta de formação;
- **Intra Ambiente:** humidade, vibração, curtas variações de temperatura, iluminação, limpeza;
- Deformação da peça ou do equipamento de medição, falta de rigidez;

Reprodutibilidade

A Reprodutibilidade é indicativa da variabilidade do processo. Este estudo objetiva a identificação da possibilidade de existir variabilidade entre os diferentes operadores, verificando assim a diferença entre diferentes pessoas no resultado de medição. A Figura 6 representa o conceito de reprodutibilidade.

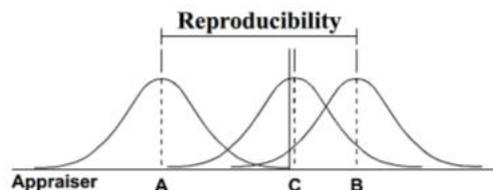


Figura 6- Conceito de reprodutibilidade (Down et al., 2010)

Os principais fatores de erro da reprodutibilidade são:

- **Entre Peças:** Diferença média quando medidas várias peças, usando o mesmo instrumento de medição, avaliadores e método;
- **Entre Instrumentos:** Diferença média quando usados diferentes instrumentos de medição, para as mesmas peças, avaliadores e ambiente;
- **Entre Padrões:** influencia média de diferentes configurações padrão no processo de medição;
- **Entre Métodos:** diferença média causada por alterar sistemas manuais versus automáticos, ajuste do zero ou métodos de fixação;
- **Entre Avaliadores:** diferença média entre diferentes avaliadores, influenciada pelo treino, experiência individual ou técnica usada;
- **Entre Ambiente:** Diferença média entre medições realizadas em diferentes períodos.

2.3.3 Analisar

A análise permite que a causa do problema seja descoberta. Deve fazer-se uma análise dos processos através de técnicas estatísticas que permitam identificar as variáveis que originam o problema. Nesta fase usou-se o programa Minitab 17, onde se fez análises de regressões e DoE para avaliar o impacto das variáveis do *setup* da máquina.

Nesta etapa separa-se o que é realmente importante do “ruído”. Identifica-se as características significativas (Inputs) e estabelece-se a capacidade do processo, definindo também as metas de desempenho. Deve descrever-se também o processo através de um Diagrama de Processo (fases do processo, variáveis de entrada e variáveis de saída).

Com este diagrama é possível obter uma frequência relativa de ocorrências que, posteriormente, passam por uma análise estatística na qual se usam ferramentas como análises de regressão, testes de hipótese, análises de variância ou qualquer outro que se adapte melhor

ao projeto e necessidades da empresa. Após esta análise, conclui-se o diagnóstico do projeto com a identificação das variáveis independentes que devem sofrer melhorias.

Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa, vulgarmente conhecido por diagrama de causa-efeito é uma ferramenta gráfica simples mas que, ao mesmo tempo, se revela muito útil e esclarecedora na identificação das fontes de variação. Apesar de não ser um diagrama muito complexo revela-se bastante útil, permitindo que o seu utilizador construa e visualize de forma rápida os fatores que estão a interferir no processo. É habitual começar a sua construção com os seis elementos seguintes: operador, máquina, método, material, sistema de medição e ambiente (Roderick et al., 2015). Na Figura 7 pode ver-se um exemplo de um Diagrama de Ishikawa.

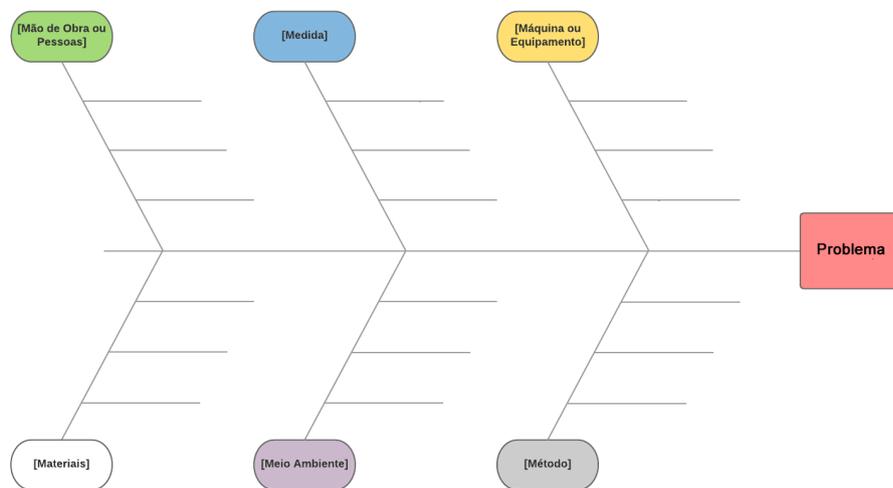


Figura 7- Exemplo de Diagrama de Ishikawa

2.3.4 Melhorar

Enquanto que nas fases anteriores o foco esteve na identificação do potencial de melhoria de um processo, na recolha e tratamento de dados, assim como na sua análise com o fim de determinar as fontes de variação com maior influência na perturbação do processo, nesta fase de melhoria é indispensável um pensamento criativo acerca das alterações que poderão ter o impacto pretendido na melhoria do processo.

Segundo Pande et al., (2000) as questões a serem analisadas pelo grupo de trabalho são as que se seguem:

- Identificar as ações ou ideias que possam ajudar a eliminar as causas do problema e atingir o objetivo;
- Determinar as ideias que realmente são exequíveis;
- Determinar as soluções que permitem atingir o objetivo com o menor custo possível e que seja de menor dificuldade de aplicação;
- Determinar a melhor maneira de testar as soluções escolhidas de forma a garantir a sua eficácia e implementação permanente.

É nesta fase que se usam ferramentas estatísticas como Desenho de Experiências (DoE). O DoE é uma técnica estatística que assenta em planear e executar experiências, utilizada na análise de problemas de qualidade e na melhoria de processos.

O DoE revela-se bastante poderoso na identificação as variáveis do processo que têm um maior impacto nas características de qualidade. Apresenta uma abordagem sistematizada e planeada na alteração dos fatores de entrada, determinando o efeito que têm nas variáveis de saída.

2.3.5 Controlar

O objetivo da última fase da metodologia DMAIC passa por avaliar se as medidas propostas estão a ser implementadas e se estão a produzir uma melhoria efetiva no processo. Esta fase passa por verificar os resultados obtidos, estabilizar as médias e consolidar os ganhos alcançados.

Devem ainda ser avaliadas as condições do processo para que as variáveis se mantenham dentro dos limites pretendidos. A verificação das ações corretivas, a validação de novos sistemas de medição, a determinação da noca capacidade do processo e a definição e implementação de um plano de controlo são atividades que devem estar presentes nesta fase.

3 Caracterização da situação inicial

A Cork Supply 2 (CSP2), unidade de Rio Meão, é dedicada ao processo de finalização das rolhas, isto é, depois de, na Cork Supply 1 (CSP1), se proceder à fabricação, desinfecção, escolha visual e revestimento colorido, as rolhas chegam a esta unidade para serem finalizadas com os processos de despoeiramento, marcação, humidificação, tratamento de superfície, embalamento e controlo de qualidade.

As rolhas são classificadas como rolhas naturais (lavadas, revestidas ou maquilhadas, ou colmatadas) ou rolhas técnicas. Somente as rolhas naturais passam pelo processo de humidificação, objeto de estudo deste projeto.

A empresa só produz aquando e consoante as encomendas dos clientes, o que faz com que na Cork Supply 2 não se tenha produto final em stock. A fase de humidificação das rolhas é precedida da marcação das mesmas, ou seja, todas as rolhas que chegam à fase de humidificação já têm um cliente final e um prazo de entrega. No caso do processo de humidificação falhar, as rolhas não podem seguir para o tratamento de parafinação e, posteriormente, para o embalamento, o que faz com que esta fase seja de grande relevância no que ao prazo de entrega diz respeito.

3.1 Descrição do processo

As rolhas chegam à Cork Supply 2, em camiões, embaladas em sacos de ráfia. Após a primeira operação nesta unidade, o despoeiramento, as rolhas são transferidas para *ropaks*. Cada encomenda do cliente está dividida igualmente pelo número de *ropaks* necessário para suportar essa mesma encomenda. O *ropak* (Figura 8) é uma caixa/contentor plástico de 1,15mx1,15mx1,0m, que afunila no fundo, e com um orifício tapado por uma porta, tendo uma capacidade de até 17000 rolhas, dependendo do tamanho das mesmas.



Figura 8- Imagem de um *ropak* fechado; Interior do Ropak

Entenda-se por fase de tratamento, um processo de aplicação de parafina e/ou siliconagem que ocorre num misturador onde são introduzidas as rolhas e seguidamente os produtos de tratamento. O misturador pode ser aquecido a cerca de 30°C promovendo a aderência dos produtos de tratamento à superfície das rolhas.

Os valores de humidade pretendidos antes da fase de tratamento são relativamente maiores aos valores pretendidos no final (antes do embalamento) porque há uma pequena perda de humidade nas rolhas aquando desta operação.

Os valores de humidade baixa fazem com que a rolha perca propriedades mecânicas, comprometendo desta forma o comportamento da rolha na garrafa, tanto aquando do engarrafamento como aquando da sua extração. A baixa humidade das rolhas faz também com que a sua superfície tenha uma capacidade de absorção elevada e, assim, a zona que contacta primeiro com a parafina, absorve-a e não permite que exista uma distribuição homogénea e uniforme nas rolhas.

Já os valores de humidade alta nas rolhas promovem o crescimento microbiológico.

Contudo, é feito um rastreio das rolhas antes da fase de tratamento com parafina, isto é, as rolhas só seguem para a fase de tratamento de superfície se estiverem com humidades entre 5,4% e 9%.

Para se atingir o intervalo de humidade especificado, o processo de humidificação das rolhas dá-se sempre por excesso, isto é humidifica-se as rolhas por excesso porque sabe-se na fase estabilização de aproximadamente 24 horas, nos contentores plásticos, as rolhas estão sujeitas a uma perda de humidade/secagem.

Nas condições ambientais em que o estudo foi feito, as rolhas, antes de serem humidificadas, apresentavam valores de humidade entre 3,5% e 6%.

Este processo de acabamento das rolhas, a humidificação, está dividido em duas fases: a fase da humidificação propriamente dita e a fase da secagem e estabilização das rolhas nos *ropaks*.

A estabilização das rolhas nos *ropaks* dá-se desde o momento em que as rolhas são humidificadas até ao dia seguinte, dia em que as rolhas são tratadas e embaladas para o cliente final, no caso de estarem dentro das humidades pretendidas.

Não existe um número de horas certo para esta fase mas sabe-se que ronda sempre as 24 horas, tendo-se apenas como condição de partida que as rolhas são humidificadas num dia e tratadas no dia seguinte. No caso de se humidificar rolhas à sexta-feira, estas são tratadas apenas na segunda-feira seguinte, após o fim-de-semana.

Antes de serem humidificadas as rolhas passam pela fase da marcação. No caso da marcação ser feita com fogo, as rolhas estão prontas para serem humidificadas. Já no caso das rolhas serem marcadas com tinta, estas passam por um período de secagem de tinta, de um dia para o outro.

Após esta estabilização da tinta, o operador recolhe aleatoriamente uma amostra de 32 rolhas da encomenda do cliente para medir a sua humidade.

A humidade das rolhas é medida através de um higrómetro *Aqua-Boy*. Este higrómetro é um aparelho com duas agulhas que perfura a rolha e mede a sua humidade. O princípio de medição é baseado na condutividade elétrica do material a ser medido. Esta condutividade é uma função do teor de humidade, dado que a cortiça tem uma muito baixa condutividade elétrica.

É de salientar que a humidade da rolha não é homogénea, isto é, variando o local e a profundidade de medição na rolha, pode haver variações de humidade. O próprio aparelho tem um batente para que o operador meça sempre as rolhas na mesma profundidade. O higrómetro (Figura 9) está ligado a um computador que regista a humidade das rolhas

recolhidas e calcula o valor médio, o valor mínimo e o valor máximo das humidades da amostra.

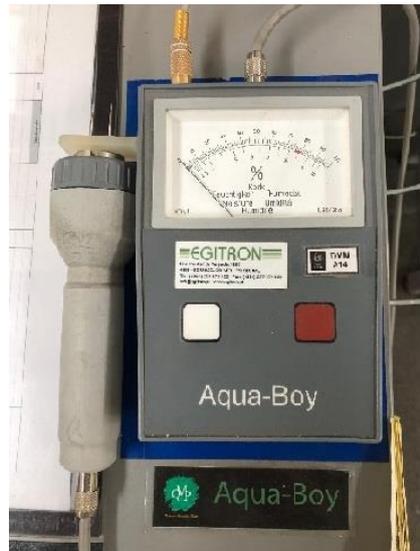


Figura 9- Higrómetro

A máquina que humidifica as rolhas (Figura 10) tem dois injetores de água, um tapete rolante, uma moega de carga para as rolhas (Figura 11), em cima, e outra moega para a sua descarga, na frente da máquina. Os injetores de água estão colocados depois da entrada das rolhas e antes da sua saída, por cima do tapete rolante. Na Figura 12 estão representados os injetores de água enquanto que na Figura 13 pode ser visto o tapete rolante e a moega de descarga do equipamento.



Figura 10- Máquina de Humidificação de Rolhas



Figura 11 – Moega de carga das rolhas na máquina



Figura 12- Injetores de água



Figura 13- Moega de descarga das rolhas e tapete rolante

Esta máquina tem dois parâmetros reguláveis, isto é, permite controlar o caudal da água e seleccionar a velocidade do tapete. Quanto à velocidade do tapete, esta é seleccionada através de um interruptor com 3 posições (Figura 14) que está programado para três velocidades diferentes, não sendo possível alterar nenhuma dessas velocidades.

O caudal da água que passa nos dois injetores é regulável por duas torneiras (Figura 15), uma para cada injetor e existe ainda um interruptor para seleccionar o número de injetores que se usa no processo, como se verifica na Figura 16.

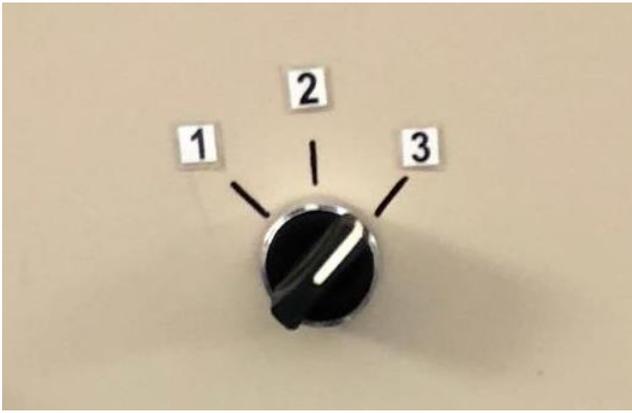


Figura 14- Interruptor de seleção de velocidade da máquina

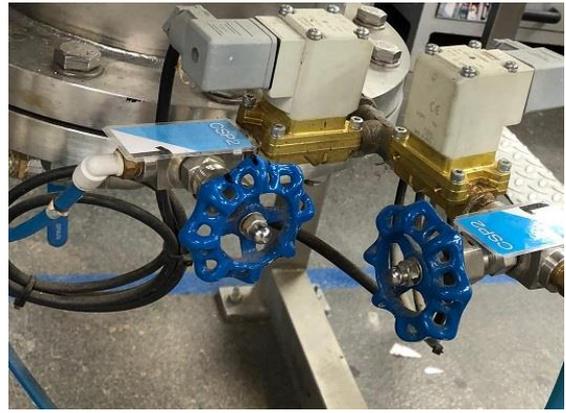


Figura 15- Torneiras de regulação de caudal



Figura 16- Interruptor de seleção do número de injetores

O operador tem marcas na torneira para se orientar, usando apenas 4 combinações de caudais diferentes, em função do número de injetores ligados e da posição das torneiras. A pressão da água nos injetores é de 0,2 MPa sendo que a própria máquina tem um bloqueio que não permite alterar essa pressão.

Depois de medir a humidade na amostra inicial, o operador guia-se pelo valor médio da mesma para seleccionar o número de injetores usado no processo de humidificação, o caudal da água e a velocidade do tapete.

A seleção das especificações da máquina usadas no processo assenta numa tabela feita empiricamente pelo operador, que se baseia na sua experiência com a máquina e com o processo e, em alguns testes realizados anteriormente. Esta tabela relaciona a humidade média das rolhas, o tipo de rolha em questão (lavadas, maquilhadas ou colmatadas) e o dia da semana, isto é, a tabela tem em conta o período de estabilização e se as rolhas vão ficar no *ropak*, na fase de secagem e estabilização, de um dia para o outro, ou se ficam durante todo o fim de semana.

GP04-T20-4

Humidificação - Velocidade do tapete

ATENÇÃO Esta tabela é válida para cadernos de encargos CSP. Para cadernos de encargos especiais, deve chamar supervisor de produção

	Humidades Iniciais - Dias normais				Humidades Iniciais - Sexta ou Sábado			
	4,0 - 4,4	4,4 - 5,0	5,0 - 5,6	5,6 - 6,0	4,0 - 4,6	4,6 - 5,0	5,0 - 5,6	5,6 - 6,0
Lavadas	2 ^{2B}	3 ^{2B}	1	2	2 ⁺	3 ⁺	1 ⁺	2 ⁺
Maquilhadas	3 ^{2B}	1	2	3	3 ⁺	1 ⁺	2 ⁺	3 ⁺
Colmatadas	2 ^{2B}	3 ^{2B}	1	2	2 ⁺	3 ⁺	1 ⁺	2 ⁺

Instruções:
É necessário verificar no GP quais as especificações de humidades. Em caso de omissão, considerar humidades de 5% a 8%.
Deve retirar uma amostra de pelo menos 32 rolhas por encanada na linha grande e 20 rolhas na linha pequena, sendo obrigatório um mínimo de 15 rolhas por conteúdo.

Figura 17- Tabela usada para escolher as especificações da máquina

Na tabela da Figura 17 podem ser vistas as especificações usadas para cada relação de variáveis referidas anteriormente.

O ícone que se encontra assinalado a vermelho é referente à velocidade do tapete, neste caso a velocidade 2.

O ícone que se encontra rodeado a azul é referente ao número de injetores a usar, neste caso 2 injetores. Note-se que, se não tiver nenhum ícone naquela posição, significa que se usa apenas 1 injetor.

Por último, o ícone rodeado a verde diz respeito ao caudal de água a usar, ou seja, se as condições da rolha requererem aquele ícone, o operador altera a posição das torneiras que regulam o caudal.

O operador faz, por vezes, algumas alterações às condições ditadas pela tabela consoante o valor máximo e o valor mínimo das humidades da amostra inicial. Tem também em conta as condições de humidade e temperatura no armazém, de um modo também empírico e em função da sua experiência. Estes ajustes feitos não estão documentados.

Esta informação das condições de humidade e temperatura do armazém é recolhida através de um aparelho de medição destas variáveis (Figura 18).



Figura 18- Termo Higrómetro (Aparelho de medição de temperatura e humidade)

As rolhas chegam à máquina de humidificação num *ropak* que é colocado por cima da mesma, na posição de carga. O operador liga então a máquina já programada com as especificações dos parâmetros de entrada e abre a porta do fundo do *ropak* para que as rolhas caiam no tapete e comecem a ser humidificadas. À saída do tapete está um outro *ropak*, exatamente igual ao referido anteriormente.

Depois de humidificadas as rolhas, os *ropaks* são fechados com uma tampa pousada por cima, ficando em espera até ao dia seguinte.

Nesta fase de espera até ao dia seguinte pretende-se que as rolhas absorvam a humidade resultante do processo de humidificação e que cheguem a um ponto em que estejam estabilizadas e em que seja possível perceber se estão então prontas para seguir para a parafinação.

Presume-se que esta fase de estabilização esteja dependente das condições de humidade e temperatura do ar no armazém.

É de salientar que estes *ropaks* não são completamente estanques, isto é, há algumas pequenas entradas de ar, fruto da estrutura do próprio *ropak* ou fruto do seu uso e desgaste, sendo que, a própria tampa que lhe é colocada por cima, também não impermeabiliza totalmente o *ropak*.

No dia após a humidificação, antes de serem parafinadas, seleciona-se novamente uma amostra da encomenda.

Esta amostra é selecionada da seguinte maneira:

- Se a encomenda vier todo no mesmo *ropak*, o operador retira uma amostra de 32 rolhas e mede a sua humidade. Nessa amostra de 32, só 3 delas podem estar fora dos intervalos pretendidos para a humidade da rolha antes do tratamento;
- Se o lote vier dividido em mais do que um *ropak*, o operador retira 16 rolhas de cada *ropak*, mantendo-se a condição de que apenas 3 rolhas do total da amostragem podem estar fora dos requisitos de humidade.

Os limites de humidade pretendidos para a fase pré-parafinação, tal como foi dito anteriormente, estão compreendidos entre 5,4% e 9%.

No caso de haver mais de 3 valores fora dos requisitos de humidade para esta fase todo o lote é rejeitado. Se a humidade das rolhas estiver acima das especificações, há a possibilidade de aquecer as rolhas num tambor de maneira a que estas percam alguma humidade e estejam logo prontas para a fase seguinte, não comprometendo o processo e os prazos. Nem sempre se consegue fazer com que esta manipulação resulte a tempo de não haver atrasos. Já no caso de as humidades estarem abaixo das especificações, têm que passar de novo pelo processo de humidificação, comprometendo-se o processo em pelo menos mais um dia.

No caso de ser aceite, o lote passa para a fase do tratamento. Após o tratamento é feito novamente um rastreio das humidades das rolhas antes de serem embaladas. Aqui o intervalo pretendido já é mais restrito e vai de encontro ao pretendido inicialmente, humidades entre 5% e 8%.

O projeto proposto pela empresa foi o estudo da fase de humidificação das rolhas e o aumento da capacidade do mesmo.

Tal como foi referido anteriormente, o processo de humidificação tem um papel crucial no cumprimento dos prazos de entrega.

O caso desta fase de preparação das rolhas falhar, implica um retrocesso do processo e, inerente a isso, um possível um atraso nos prazos de entrega e custos associados à correção do produto.

3.2 Variáveis do processo

Nesta secção definir-se-á o problema no âmbito do primeiro passo da metodologia DMAIC, o definir.

O processo de humidificação das rolhas envolve várias variáveis, sendo que algumas delas não são sequer controláveis nas condições oferecidas pela empresa, pelo armazém e pelo processo.

Assim sendo no processo da humidificação podem considerar-se as seguintes variáveis, entre as quais constam variáveis que poderão ser consideradas fatores de ruído:

- Humidade inicial das rolhas, isto é, a humidade das rolhas antes de serem humidificadas;
- Tipo de rolha (lavada, maquilhada ou colmatada);
- Caudal de água
- Velocidade do tapete;
- Condições de humidade e temperatura do ar no armazém;
- Tempo de estabilização no *ropak*;
- Posição relativa das rolhas no *ropak* (isto é, se as rolhas estão no topo, no meio ou no fundo).

No caso do tipo de rolhas a humidificar, neste estudo optou-se por seleccionar apenas as rolhas maquilhadas uma vez que representam 90% das encomendas.

As condições de humidade e temperatura do ar no armazém não são variáveis que a empresa tenha meios de controlar, pelo que, tendo este estudo sido feito numa altura do ano de humidades quase sempre altas comparativamente aos períodos de Primavera/Verão, só se pode considerar todo o trabalho válido para os períodos de humidades relativas a partir dos 35% (valores de referência do aparelho de medição da empresa).

Todas as etapas que precedem a humidificação das rolhas, tanto na CSP1 como na CSP2, bem como o tratamento com parafina feito na CSP2, não foram alvos de estudo deste projeto.

O estudo previsto pela empresa previu apenas o estudo isolado da fase de humidificação das rolhas, sendo que a própria fase de estabilização nos *ropaks* foi considerada como sendo homogénea, apesar de ser admissível que na realidade não o será.

Experimentalmente, apesar de não ter sido feito o estudo detalhado, foi feito o registo da variação de humidade nas 24 horas de estabilização, após humidificação.

Segundo os dados de qualidade fornecidos pela empresa, no ano de 2018, produziram-se em média, 12 milhões de rolhas naturais por mês, com uma taxa média mensal de reprocessos de 5% devido à humidificação, o que se traduz num retratamento médio mensal de 650000 rolhas naturais.

Apesar dos valores de reprocessos serem, nesta situação inicial, ainda insatisfatórios para a empresa, o processo de humidificação não carrega grandes custos monetários e funciona minimamente. Assim sendo, considerar outras variáveis de entrada teria outros custos significativos de investimento, pelo que se justifica esgotar primeiro todas as possibilidades de melhoria deste processo usando apenas os parâmetros de *setup* existentes e, só pensar em outras possibilidades, se estes se continuarem a revelar insuficientes para os resultados pretendidos.

4 Desenvolvimento e aplicação das soluções propostas

No presente capítulo é explicado pormenorizadamente as soluções propostas à empresa para o problema proposto. O desenvolvimento destas soluções assentou na metodologia DMAIC, desde a definição do problema até ao controlo do processo.

A secção 3.2 é parte da primeira fase do ciclo, o *define*.

Como já referido anteriormente, o teor de humidade das rolhas é um fator muito importante na qualidade das rolhas, tornando-se também um fator importante para o cliente e, consequentemente, para a empresa.

O problema apresentado pela empresa sugeria um aumento da capacidade no processo de humidificação das rolhas devido aos reprocessos que esta fase de preparação das mesmas causava. Estes reprocessos comprometem os prazos de entrega dos lotes que têm que ser retratados como podem possivelmente comprometer os prazos de entrega de outras encomendas, além dos custos que estão inerentes a esses atrasos e a esses reprocessos.

Após a perceção da situação inicial e dos métodos de trabalho usados para este processo, decidiu-se focar o estudo nas variáveis que podiam ser manipuladas, neste caso o caudal de água usado na máquina da humidificação e a velocidade do tapete usada.

No entanto, supôs-se que haveria outras condições que viriam a influenciar todo o processo, como a humidade e temperatura do ar no armazém, embora tivesse sido dada menos relevância a esses fatores pela impossibilidade de manipulação.

4.1 Medir

4.1.1 Identificação das entradas e saídas do processo

A segunda etapa do ciclo DMAIC, o *measure* (medir), começou por identificar inequivocamente as entradas e as saídas do processo. Assim sendo, as entradas do processo seriam as humidades iniciais da rolha (indiciadas por uma amostra de 32 rolhas do lote da encomenda), o caudal da água e a velocidade do tapete na máquina. A saída do processo seria a humidade das rolhas com valores entre 5,4% e 9%, sensivelmente 24 horas depois da humidificação, isto é, antes de serem tratadas com parafina.

4.1.2 Avaliação e validação do sistema de medição

A primeira entrada do processo é a medição da humidade das rolhas. Posto isto, o primeiro passo desta fase foi a validação do método de medição. Durante a definição do problema e do processo, verificou-se que o operador recolhia a amostra das rolhas dos *ropaks* para lhe medir as humidades com as mãos nuas, isto é, com a pele em contacto com as rolhas.

Na análise e validação dos métodos de medição, fez-se um estudo Gage R&R expandido, isto é, ao invés de se fazer um estudo repetibilidade e reprodutibilidade variando apenas o operador e a peça, acrescentou-se mais uma variável, neste caso, o uso de luvas de latex durante a medição.

Para este estudo Gage R&R, foram envolvidos dois operadores, que mediram 20 rolhas diferentes, cada um, com e sem luvas. Esta operação foi feita duas vezes, ou seja, cada operador mediu, por duas vezes, a mesma amostra de 20 rolhas com e sem luvas, perfazendo um total de 160 medições. Cada uma das 20 rolhas medidas estava marcada e foram registados os valores de humidade para cada uma das rolhas, feitas por um e outro operador, com e sem luvas.

O programa estatístico usada para fazer esta análise foi o Minitab.

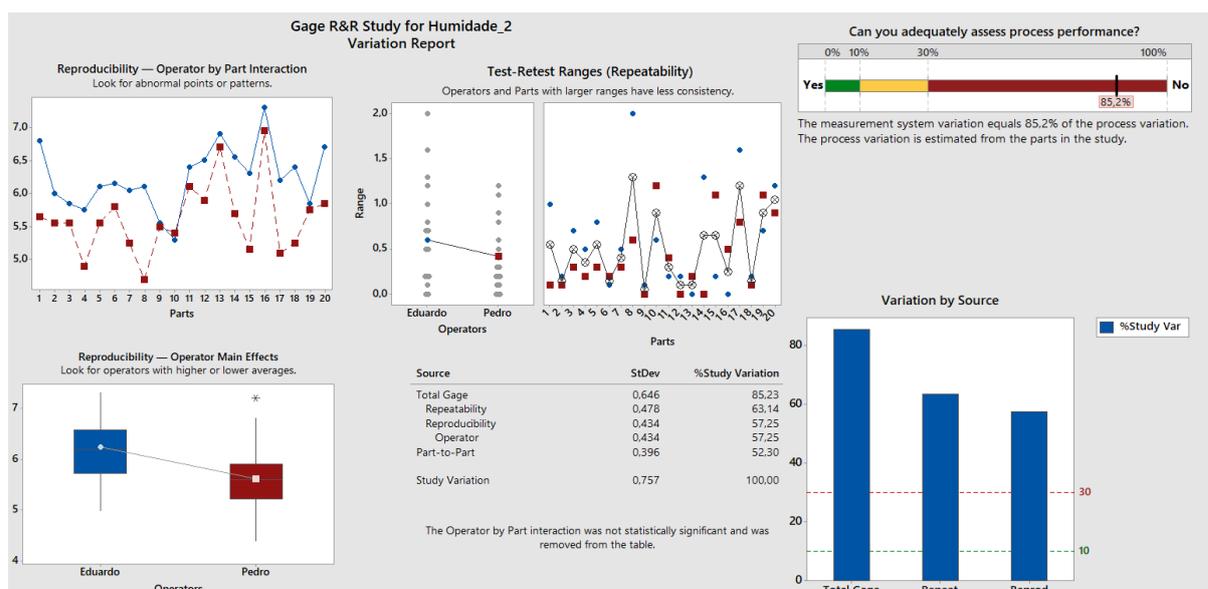


Figura 19- Resultados estatísticos devolvidos pelo Minitab nas medições feitas sem luvas

Como se pode observar na Figura 19, os resultados devolvidos pelo programa usado indicam que o sistema de medição representa 85,2% da variação do processo.

Na componente da repetibilidade, a variação que ocorre quando a mesma pessoa mede a mesma rolha mais do que uma vez, equivale a 74,1% da variação da medição e é 63,1% da variação total no processo.

Na componente da reprodutibilidade, a variação que ocorre quando pessoas diferentes medem a mesma rolha, equivale a 67,2% da variação da medição e é 57,3% da variação total do processo.

Os resultados deste tipo de estudo são normalmente traduzidos na percentagem da variabilidade total que resulta do sistema de medição, neste caso 85,2%. Os padrões de aceitabilidade para o sistema de medição assentam nos seguintes parâmetros:

- Até 10% considera-se aceitável
- Entre 10% e 30% considera-se condicionalmente aceitável
- Mais de 30% considera-se inaceitável

Assim sendo, este sistema de medição nestas condições representava um problema.

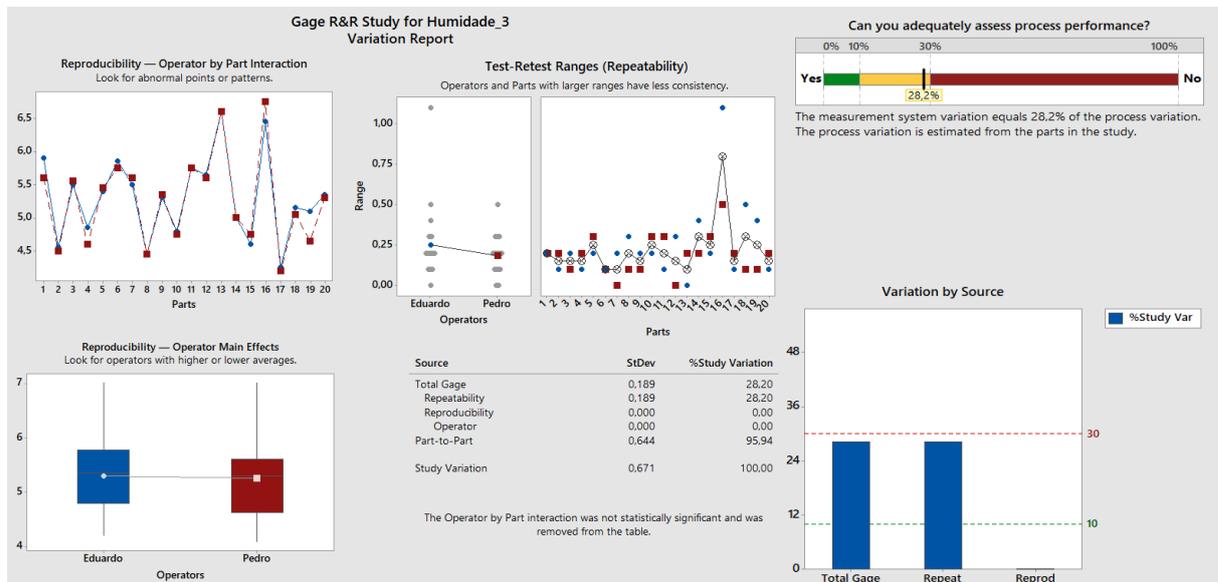


Figura 20-Resultados estatísticos devolvidos pelo Minitab nas medições feitas com luvas

Na Figura 20, os resultados que as medições com luvas apresentam são completamente diferentes dos resultados aquando das medições sem luvas. Aqui, a variação do sistema de medição representa apenas 28,2% da variação total do processo.

No que toca à repetibilidade, a variação que ocorre quando a mesma pessoa mede a mesma rolha mais do que uma vez equivale a 28,2% da variação total no processo.

Quanto à reprodutibilidade, a variação que ocorre quando pessoas diferentes medem a mesma rolha não tem relevância estatística na variação da medição nem na variação total do processo.

Os 28,2% que representam a variabilidade total que resulta do sistema de medição, traduzem que o sistema é condicionalmente aceitável, o que nos permite validar o sistema de medição nestas condições.

Este estudo foi apresentado e aprovado pela produção, que decidiu então adotar este novo procedimento.

Posto isto, em todas as medições de humidades feitas desde então, o operador usou umas luvas de latex, de maneira a perturbar o menos possível a humidade das rolhas aquando da sua medição.

4.1.3 Recolha de dados

Durante algumas semanas, o trabalho no chão de fábrica passou por recolher dados da situação inicial na humidificação das rolhas.

Começou então por se medir o caudal de água que passava nos injetores, consoante a seleção no interruptor de 1 ou 2 injetores ligados e consoante a posição das torneiras, e por se medir as 3 velocidades diferentes do tapete.

Como foi referido na etapa de definir, o caudal de água usado na tabela feita pelo operador, contemplava apenas 4 combinações diferentes, de acordo com o número de injetores usado e a posição das torneiras. As torneiras têm duas marcas cada uma, para o operador regular o caudal. Uma das marcas é dita como a posição normal da torneira e a outra marca é dita como a posição + da torneira. Assim sendo, como se pode verificar na Tabela 2, o caudal poderia ser combinado da seguinte forma:

- 1 injetor ligado, na posição normal da torneira
- 1 injetor ligado, na posição + da torneira
- 2 injetores ligados, nas posições normais das torneiras
- 2 injetores ligados, nas posições + das torneiras

Utilizou-se então um recipiente e cronometrou-se o tempo que este demorava a atingir 0,5L de água. Fez-se esta medição para as 4 combinações de caudal possíveis. A medida do caudal de cada combinação foi dada pela média de 3 valores. Cada um desses 3 valores foi também uma média de outras 3 medições aleatórias. Assim, para cada combinação de caudal, cronometrou-se 9 vezes o tempo que o recipiente demorou a atingir 0,5L de água. A Tabela 2 representa os valores médios de caudal de cada uma das combinações.

Tabela 2- Caudal de água das diferentes combinações da máquina de humidificação

Condição	Caudal (L/min)
1 injetor, posição normal	1,6
1 injetor, posição +	1,7
2 injetores, posição normal	2,1
2 injetores, posição +	2,3

Quanto à velocidade do tapete, foi feita uma medição do mesmo e cronometrou-se o tempo que este demorava a dar uma volta completa. À semelhança do que se fez na medição do caudal de água, a velocidade do tapete também é a média de 3 valores de velocidade, sendo que cada um destes 3 valores, representa a média de outras 3 medições. Assim, a Tabela 3 representa a velocidade das 3 posições diferentes que a máquina de humidificar contempla.

Tabela 3- Velocidade do tapete das diferentes combinações da máquina de humidificação

Condição	Velocidade (m/min)
1	11,5
2	20
3	27,9

Posto isto, foi feito um registo pormenorizado do trabalho do operador. Registou-se ao longo das semanas todo o processo de humidificação das rolhas.

Neste registo teve-se em conta os valores de humidades antes da humidificação, os valores de caudal e velocidade do tapete, as condições de temperatura e humidade no armazém, o número de rolhas em cada *ropak*, o tamanho das rolhas, a evolução da humidade nas rolhas nos *ropaks* pós humidificação até à fase da parafinação (foi feito um registo de hora a hora da humidade das rolhas, dentro do horário de expediente da empresa e teve-se em conta a posição relativa das rolhas no *ropak*, isto é, se estavam na parte superior do *ropak*, no meio ou no fundo).

Nem todos os valores dos parâmetros anteriormente referidos foram usados para o estudo realizado. Ainda assim, fez-se este registo para se tentar perceber se haveria alguma influência dos mesmos no processo e, no caso de não haver conclusões acerca do assunto, se ficar com os dados para trabalhos futuros.

A Figura 21 representa um exemplo da folha de registos nesta fase da recolha de dados. Todos os dados foram registados em folhas de Excel.

Tipo de Rolha	Maquilhadas 205	Hora	Temperatura (°C)	Humidade (%)	Rolha	Posição relativa no ropak	Humidade (%) 3h	Humidade (%) 5h	Humidade (%) 6h	Rolha	Humidade (%) 24h	Humidade pós tratamento
Tamanho da Rolha	45x26	9h	17	49	1	Cima	11	9,5	10	1	7,6	5,8
Tamanho do Lote	10040	12h	18,5	47	2	Cima	11	10,3	11	2	7,8	5,7
Data	08/11/2018	14h	19,4	45	3	Cima	11	11	9,2	3	7,8	6,8
Dia	Quinta feira	15h	19,3	43	4	Cima	11	8,7	9,3	4	8,2	6,1
		9h dia seguinte	18	46	5	Cima	11	9,8	11	5	8,2	5,9
ANTES DA HUMIDIFICAÇÃO												
Mínimo Humidade (%)	4,7				6	Cima	11	9,7	8,5	6	8,2	5,6
Máximo humidade (%)	7,1				7	Cima	11	8,6	8,5	7	8,4	6,1
Média Humidade (%)	5,7				8	Cima	11	9,8	10	8	8,4	6,2
					9	Cima	11	11	9	9	8,4	6,3
					10	Cima	11	8,9	10	10	8,4	6,6
					11	Meio	11	11	11	11	8,4	5,6
		3h	5h	6h	12	Meio	11	11	11	12	8,4	6,1
perda humidade cima		-11,5%	-12,3%		13	Meio	11	11	11	13	8,6	5,7
perda humidade meio		0,0%	0,0%		14	Meio	11	11	11	14	8,6	6,1
perda humidade fundo		0,0%	0,0%		15	Meio	11	11	11	15	8,6	6
perda humidade média		-3,8%	-4,1%		16	Meio	11	11	11	16	8,6	6,2
média rolhas cima	11,0	9,7	9,7		17	Meio	11	11	11	17	8,6	5,7
média rolhas meio	11,0	11,0	11,0		18	Meio	11	11	11	18	8,6	5,7
média rolhas fundo	11,0	11,0	11,0		19	Meio	11	11	11	19	8,8	6,6
Média humidades	11,0	10,6	10,6		20	Meio	11	11	11	20	8,8	6,5
					21	Fundo	11	11	11	21	9	5,8
					22	Fundo	11	11	11	22	9	6
					23	Fundo	11	11	11	23	9	5,5
					24	Fundo	11	11	11	24	9	6,1
					25	Fundo	11	11	11	25	9,5	5,6
					26	Fundo	11	11	11	26	9,5	6,1
					27	Fundo	11	11	11	27	9,5	6,8
					28	Fundo	11	11	11	28	9,5	5,8
					29	Fundo	11	11	11	29	9,5	6,1
					30	Fundo	11	11	11	30	9,5	6,4
Condição	Vel. 3	1 injetor			31					31	9,5	7,5
					32					32	9,5	6,3
										Média	8,7	6,1
										Perda	-20,6%	-44,5%

Figura 21- Exemplo de uma folha de registo de dados, no Excel

É de salientar que o aparelho usado para a medição da humidade relativa das rolhas, o higrómetro, só regista valores entre 3% e 11%.

4.1.4 Capacidade do processo inicial

Com os dados recolhidos e com o auxílio do programa Minitab mediu-se a capacidade do processo. Foram introduzidas no programa a humidade das 32 rolhas medidas às 24 horas após a humidificação, antes de terem o tratamento da parafinagem.

A Figura 22 representa a avaliação devolvida pelo programa no que à capacidade diz respeito.

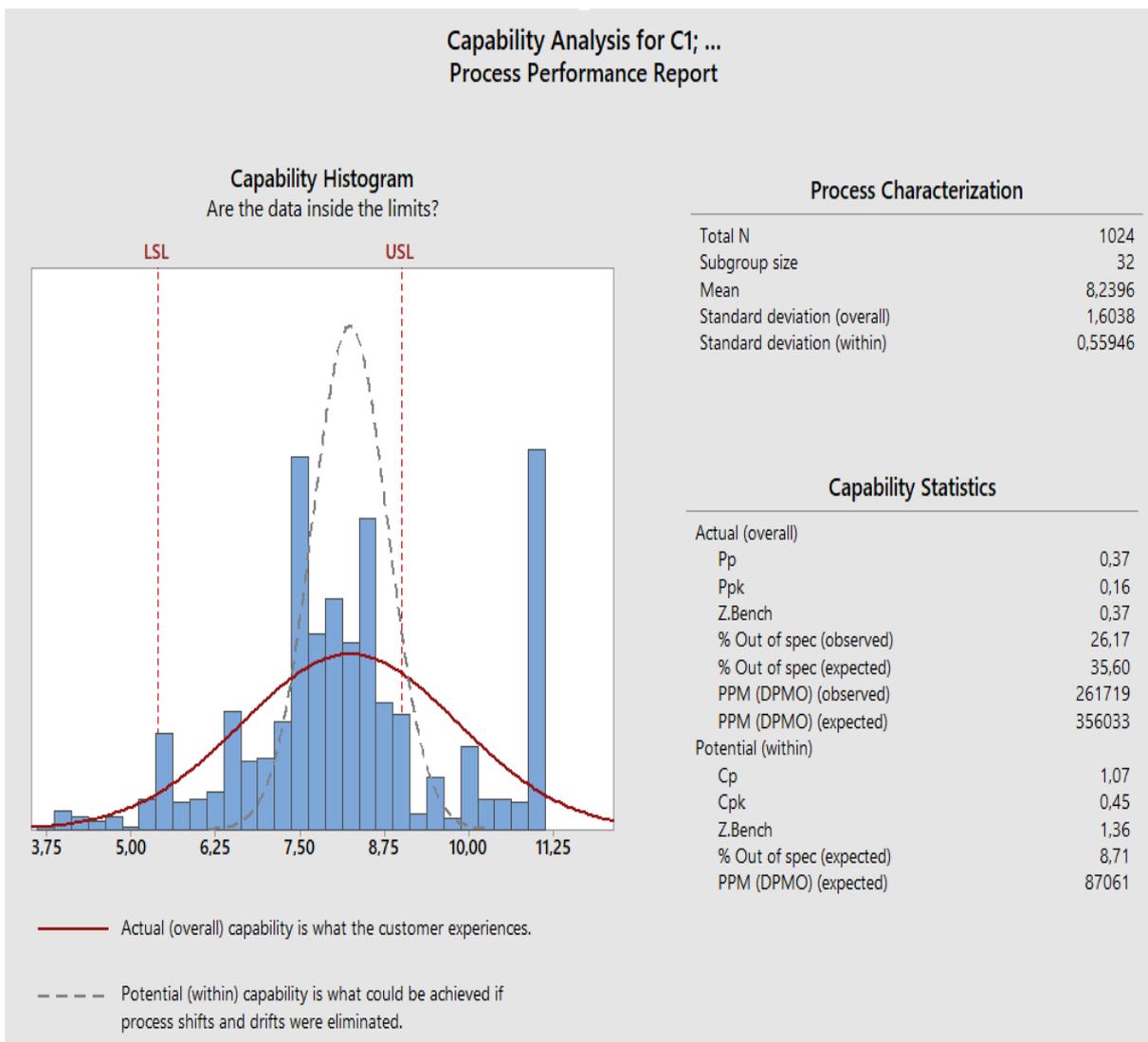


Figura 22- Análise de capacidade do processo, pelo Minitab

Todos os valores introduzidos foram recolhidos de amostragens e lotes aleatórios, ao longo de algumas semanas de produção e compreenderam todos os tipos de *setup* da máquina, diferentes humidades e temperaturas no armazém, e um intervalo alargado de humidades das rolhas antes da humidificação (3,5% a 6%)

Pela análise visual do gráfico pode perceber-se que, para além dos dados do processo não estarem muito centralizados entre os limites de especificação, o processo de dispersão é maior do que a dispersão da especificação, isto é, há peças fora de conformidade abaixo do limite inferior de especificação (LSL) e acima do limite superior de especificação (USL), o que sugere uma baixa capacidade.

A capacidade global representa o desempenho real do processo.

O valor de Pp avalia capacidade global do processo com base na dispersão do mesmo. Este valor não considera a localização do processo, indica a capacidade global que o processo seria capaz de atingir caso fosse centralizado.

O valor de 0,38 (valor baixo) para o Pp é indicativo de que a capacidade total do processo é insuficiente, com base na sua variabilidade.

O valor de Ppk avalia a capacidade do processo global baseando-se na localização do processo.

O valor baixo de Ppk (0,16) é indicativo de que a distância média do processo para o limite de especificação mais próximo (neste caso o USL) é menor do que a dispersão do processo unilateral e, conseqüentemente, a capacidade do processo é insuficiente.

A capacidade potencial representa o que poderia ser alcançado no caso da variabilidade e deslocamentos do processo fossem eliminados.

O valor de Cp é usado para uma avaliação da capacidade do processo com base na dispersão do mesmo. Como este valor não considera a localização do processo, indica a capacidade que se poderia atingir se este fosse centralizado.

O valor de 1,07 para o Cp representa que a dispersão da especificação é menor do que a dispersão do processo dentro do subgrupo e, conseqüentemente, a capacidade do processo é insuficiente, com base na sua variabilidade.

O Cpk permite avaliar a capacidade do processo com base na localização do mesmo e na sua dispersão.

Neste caso, o valor de 0,45 para Cpk, indica a distância média do processo para o limite de especificação mais próximo, o USL, é menor do que a dispersão unilateral, provando-se mais uma vez que a capacidade do processo é insuficiente.

Os valores de Z Bench podem ser usados para descrever a capacidade sigma do processo. Alguns profissionais definem a capacidade sigma de um processo de um processo como o valor de Z Bench a longo prazo na capacidade global mais 1,5.

Assim sendo a capacidade sigma deste processo seria $1,87 \sigma (0,37+1,5)$.

Novamente pela análise visual do gráfico, pode aferir-se que esta distribuição está muito próxima de ser normal, apesar das limitações anteriormente referidas do aparelho de medição.

4.2 Analisar

Depois de toda a recolha de dados na etapa anterior, procedeu-se à análise desses mesmos dados, de forma a tentar perceber as causas do problema e perceber a importância das variáveis de entrada no sucesso do processo.

4.2.1 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa, diagrama de causa-efeito, permite visualizar de uma forma rápida todos as fontes de variabilidade de um processo. Na Figura 23 está representado um diagrama deste tipo, onde se pode rever de uma maneira muito esclarecedora as variáveis da humidificação das rolhas.

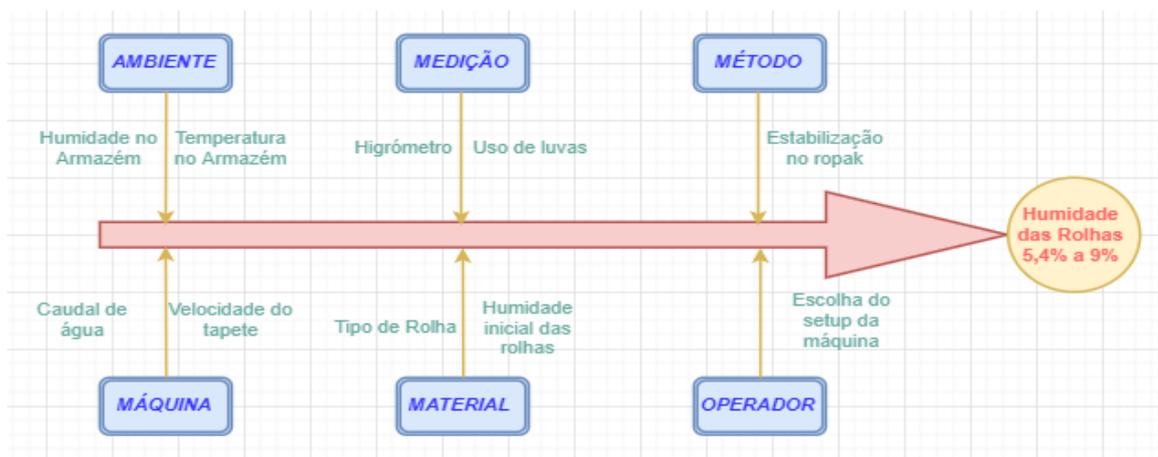


Figura 23- Diagrama de Ishikawa do processo de humidificação das rolhas

4.2.2 Identificação das potenciais causas para a ocorrência de variabilidade

Após a recolha de dados durante as várias semanas em que se mediu o processo de humidificação das rolhas, a primeira análise centrou-se na tabela (Figura 17) que o operário usava para escolher as especificações da máquina.

Assim, para perceber se de facto a tabela pelo menos estava coerente, calculou-se logo à partida, o caudal de água por distância percorrida do tapete, para cada uma das diferentes combinações de caudal e velocidade do tapete usados na máquina. A Tabela 4, que surge de uma combinação de cálculo (caudal/velocidade) entre a Tabela 2 e a Tabela 3, mostra os valores obtidos a partir deste cálculo (caudal de água por distância percorrida).

Tabela 4- Caudal de água por distância percorrida do tapete, das diferentes combinações de especificações da máquina de humidificação

Condição	Água por distância (L/m)
Velocidade 1 ; 2 injetores, posição +	0,200
Velocidade 1 ; 2 injetores, posição normal	0,183
Velocidade 1 ; 1 injetor, posição +	0,148
Velocidade 1 ; 1 injetor, posição normal	0,139
Velocidade 2 ; 2 injetores, posição +	0,115
Velocidade 2 ; 2 injetores, posição normal	0,105
Velocidade 2 ; 1 injetor, posição +	0,085
Velocidade 2 ; 1 injetor, posição normal	0,080
Velocidade 3 ; 2 injetores, posição +	0,082
Velocidade 3 ; 2 injetores, posição normal	0,075
Velocidade 3 ; 1 injetor, posição +	0,061
Velocidade 3 ; 1 injetor, posição normal	0,057

Após a análise da Tabela 4 e, em comparação com a tabela usada pelo operador (Figura 17), foi possível perceber que havia uma falta de coerência nas especificações da máquina usadas pelo mesmo, fruto da origem empírica dessa mesma tabela.

Retomando a análise da Figura 17, esta falta de coerência pode comprovar-se, por exemplo, na humidificação das rolhas maquilhadas.

Note-se que, para humidades iniciais das rolhas (humidade antes da humidificação) entre 4% e 4,4%, a tabela dita que se use a velocidade 3 e os dois injetores ligados na posição normal das torneiras e, para humidades entre 4,4% e 5%, a tabela dita o uso da velocidade 1 com um injetor ligado na posição normal da torneira.

Ora, se as humidades iniciais são mais baixas supõe-se o uso de mais água e, pela análise da Tabela 4, percebe-se que tal não acontece. Assim, percebeu-se que a tabela usada e as condições as variáveis de entrada da máquina seriam fatores de variabilidade e falta de centralidade no processo.

As medições feitas comprovaram também que a humidade e temperatura do ar no armazém condicionavam as condições de humidade das rolhas antes da parafinação.

Alguns dos dados recolhidos foram em condições de humidades do ar a baixo dos 30% e, aí foi possível perceber que a perda de humidade das rolhas no processo de secagem e estabilização no *ropak* sofria uma mudança mais brusca.

4.2.3 DoE

De forma a perceber-se o funcionamento do sistema, procedeu-se a uma construção de um DoE com o auxílio do programa Minitab.

Nesta análise estatística, o caudal de água e a velocidade do tapete são fatores de entrada controláveis. Também a humidade inicial das rolhas foi considerada como fator de entrada na análise.

As variáveis não controláveis, tanto a humidade e a temperatura do ar no armazém, como as condições das rolhas no *ropak*, também foram medidos mas foram considerados constantes durante toda a realização dos ensaios do desenho experimental.

O objetivo desta análise seria perceber e demonstrar estatisticamente a importância relativa das fontes de variação do processo.

Para a análise do Minitab, foram recolhidos os dados de 16 humidificações. As amostragens foram sempre as mesmas mas de lotes diferentes, pois esta análise exigia uma gama alargada de humidades iniciais. Nestas 16 humidificações, foram combinados por duas vezes os extremos de caudal da máquina (1 injetor ligado e 2 injetores ligados) com os extremos de velocidade do tapete (velocidade 1 e velocidade 3), para uma gama alargada de humidades iniciais das rolhas. Os valores de saída do processo são as humidades das rolhas passado 24h.

Na Figura 24 estão representadas todas as combinações que foram colocadas no programa MiniTab. De referir que, os valores de velocidade do tapete, caudal e humidade inicial da rolha, foram valores descritivos.

Vel. Tapete	Humidade Inicial (%)	Caudal	Humidade Média 24h (%)
3	<5	2 injetores	6,9
3	<5	2 injetores	5,5
3	>5	2 injetores	10,9
3	>5	2 injetores	10,4
3	<5	1 injetor	7,9
3	<5	1 injetor	6
3	>5	1 injetor	8,7
3	>5	1 injetor	7,2
1	<5	2 injetores	10,9
1	<5	2 injetores	10,9
1	>5	2 injetores	11
1	>5	2 injetores	10,9
1	<5	1 injetor	10
1	<5	1 injetor	9,5
1	>5	1 injetor	9,5
1	>5	1 injetor	11

Figura 24- Dados qualitativos colocados no Minitab para análise estatística

Depois de colocar estes dados no Minitab, o programa devolveu uma análise estatística que identifica os fatores de entrada mais influentes no processo, bem como uma fórmula que permite calcular o valor de saída do processo (humidade das rolhas 24 horas depois de serem humidificadas), consoante os valores de entrada (humidade inicial das rolhas, caudal de água na máquina e velocidade do tapete).

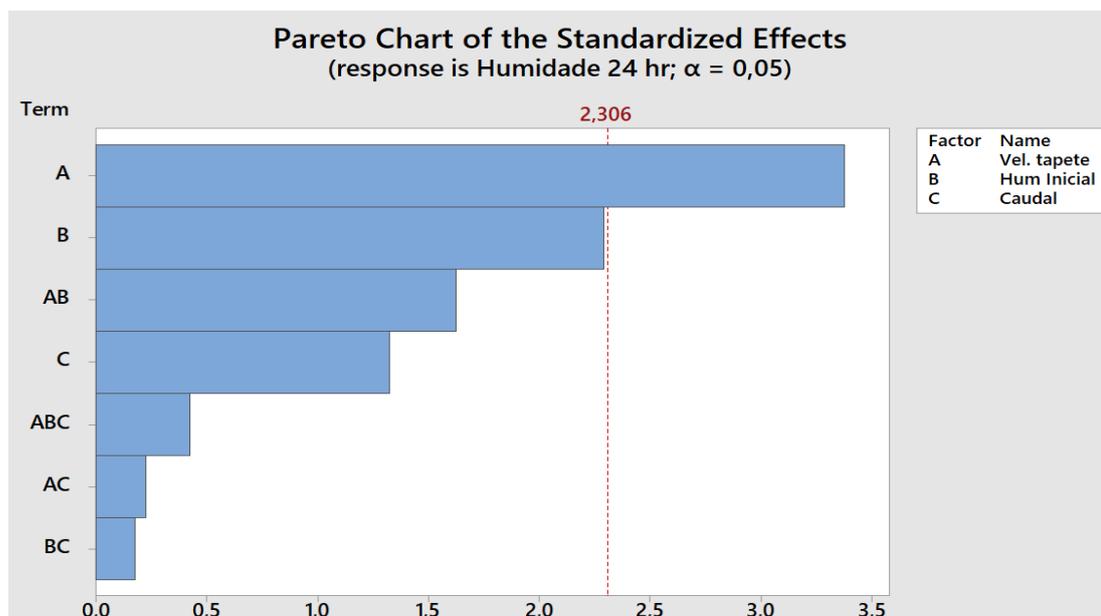


Figura 25- Gráfico de pareto de análise do processo de humidificação das rolhas, devolvido pelo Minitab

Na Figura 25 está representado um gráfico de Pareto de análise de uma experiência fatorial, neste caso o processo de humidificação das rolhas.

Pela análise do gráfico, percebe-se que apenas as barras (fatores de entrada) que cruzam a linha de referência (linha tracejada a vermelho de valor 2,306) são estatisticamente significativas para o processo, a um nível de confiança de 95% com os termos do modelo inicial.

No caso da humidificação das rolhas pode-se observar que apenas a velocidade do tapete é estatisticamente significativa para o processo, sendo que a humidade inicial das rolhas também se aproxima muito dessa linha de referência referida anteriormente.

O gráfico de Pareto exhibe o valor absolutos dos fatores, isto é, consegue determinar-se os efeitos que são realmente significativos, mas não é possível determinar quais efeitos aumentam ou diminuem a resposta.

Apesar de não estar aqui representado, no gráfico de efeitos principais, a influência do caudal, por este não se ter revelado muito significativo na saída do processo, aferiu-se que a um maior valor de caudal na humidificação corresponde um maior valor de humidade das rolhas às 24 horas.

Para uma análise de aumento ou diminuição de resposta pode utilizar-se um gráfico de efeitos principais, como o da Figura 26.

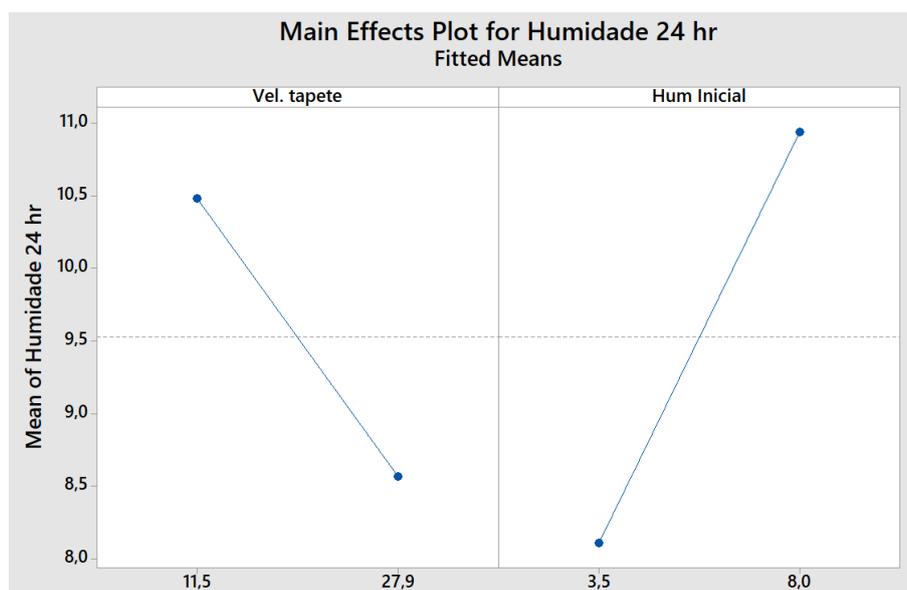


Figura 26- Gráfico de efeitos principais, devolvido pelo Minitab

Na análise do gráfico percebe-se para uma maior velocidade do tapete, as humidades das rolhas às 24 horas após a humidificação tendem a ser mais baixas, comparando com velocidades do tapete menores. Quanto à humidade inicial das rolhas acontece exatamente o contrário, isto é, para humidades iniciais das rolhas mais baixas, a humidade final é também mais baixa.

A fórmula devolvida pelo programa, por só se ter introduzido valores descritivos, não possibilitou a previsão de resultados para o processo. Então, posto isto, introduziu-se no programa os valores quantitativos das variáveis de entrada. A Figura 27 representa os dados quantitativos colocados no programa.

Vel. Tapete (m/s)	Humidade Inicial (%)	Caudal (L/min)	Humidade Média 24h (%)
27,9	3,5	2,1	6,9
27,9	3,9	2,1	5,5
27,9	8	2,1	10,9
27,9	6,2	2,1	10,4
27,9	4,9	1,6	7,9
27,9	4,3	1,6	6
27,9	5,2	1,6	8,7
27,9	5,7	1,6	7,2
11,5	3,9	2,1	10,9
11,5	3,9	2,1	10,9
11,5	7	2,1	11
11,5	6,7	2,1	10,9
11,5	4,8	1,6	10
11,5	4,5	1,6	9,5
11,5	6,4	1,6	9,5
11,5	7	1,6	11

Figura 27- Dados quantitativos colocados no Minitab para análise estatística

4.3 Melhoria

Nesta fase de melhorar, a ideia passou por criar uma nova tabela para consulta do operário, que pudesse controlar melhor a variabilidade do processo e minimizar os reprocessos.

4.3.1 Potencial solução para a eliminação das causas fundamentais do problema

Tal como referido anteriormente, o Minitab, através da introdução das medições feitas, formulou uma equação capaz de estimar a humidade das rolhas às 24 horas mediante as condições dos fatores de entrada do processo (equação 4.1).

$$\begin{aligned}
 \text{Humidade 24 h } r = & -3,6 + 0,23 * \text{Velocidade tapete} + 1,99 \text{Humidade Inicial} + 9,8 \text{Caudal} - 0,051 \text{Velocidade tapete} * \text{Hum Inicial} - 0,361 * \text{Velocidade tapete} * \\
 & \text{Caudal} - 1,32 * \text{Humidade Inicial} * \text{Caudal} + 0,057 * \text{Velocidade Tapete} * \text{Humidade Inicial} * \text{Caudal}
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

4.3.2 Avaliação da solução proposta

Com esta fórmula foi feita uma análise e uma comparação dos valores reais pelas medições feitas, com os valores ditados pela mesma. Depois de recolhidos os dados fez-se um gráfico para perceber a viabilidade da fórmula.

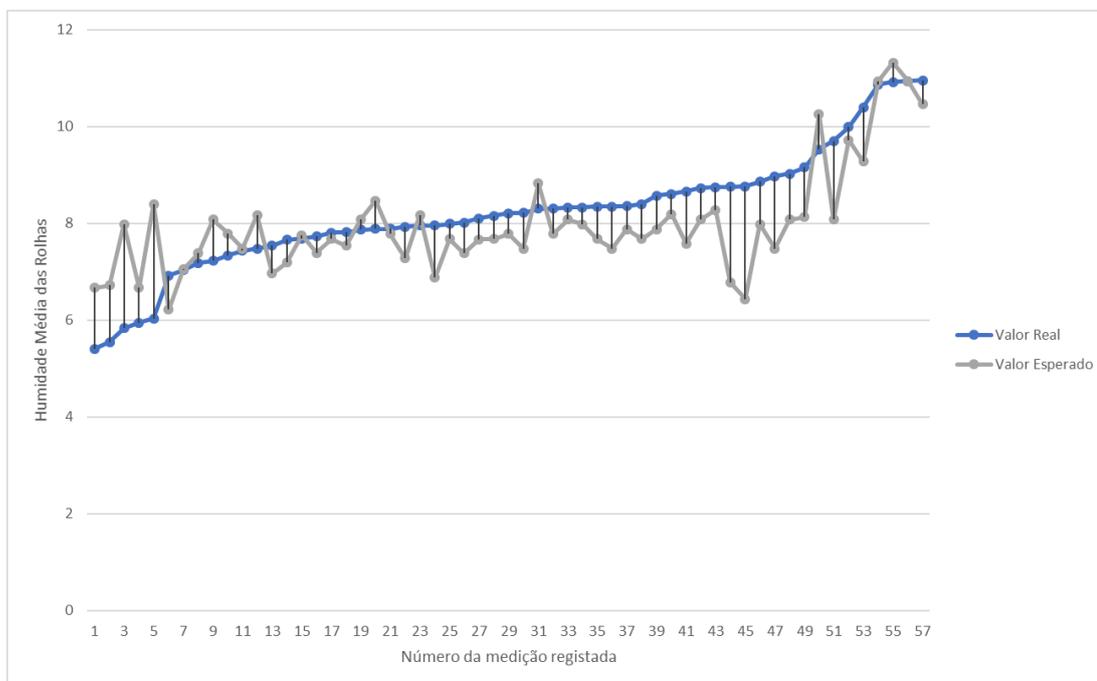


Figura 28- Gráfico de análise dos valores reais de humidade e do respetivo valor esperado pela fórmula

No gráfico da Figura 28 pode ver-se a comparação dos valores reais de humidade às 24 horas em comparação com o valor devolvido pela equação.

O eixo vertical corresponde à humidade das rolhas às 24 horas e o eixo horizontal corresponde a cada medição feita, sendo que a linha azul é o valor real das humidades e a linha cinza o valor esperado.

Tabela 5- Valor médio das medições feitas, valor médio dos resultados devolvidos pela equação e média das diferenças entre os valores reais e os valores esperados, bem como o respetivo valor de desvio padrão.

	Valor Real	Valor Esperado	Diferença
Média	8,36	8,27	0,58
Desvio Padrão	1,46	1,29	0,44

Na Tabela 5 estão representados o valor médio das medições reais da humidade das rolhas, o valor médio dos resultados devolvidos pela equação e a respetiva média das diferenças entre os valores reais e os valores esperados, bem como o respetivo valor de desvio padrão.

Pela análise do gráfico da Figura 30 e dos valores da Tabela 5 consegue perceber-se que os valores reais de humidade e os valores esperados são muito próximo, o que viabilizaria a introdução de uma nova tabela que se regesse pelos valores dados pela equação formulada.

4.3.3 Teste da nova solução

Nesta fase do processo, decidiu testar-se a nova solução utilizando a equação. Definiu-se então que as humidades das rolhas passadas as 24 horas após a humidificação, pelo cálculo da fórmula, deveria estar entre 6% e 8%.

Este intervalo está situado entre os valores pretendidos pela empresa para esta fase (5,4% a 9%), para que se possa contemplar os possíveis erros da equação sem que se comprometa o resultado final.

Note-se que, por vezes, fruto das humidades iniciais das rolhas e das limitações da máquina de humidificar, a equação formulada não consegue dar a humidade pretendida às 24 horas (6% a 8%).

O operário foi, nesta fase, acompanhado e monitorizado de maneira a usar as variáveis de entrada do processo mediante a equação formulada no Minitab.

Nesta fase de teste, ainda sem uma nova tabela feita para o processo, as ordens de *setup* eram calculadas pelo Minitab. Introduzia-se os valores de humidade inicial das rolhas no programa, e este, usando a equação, devolvia os resultados esperados para cada diferente *setup* da máquina, escolhendo-se assim o que melhor se adequava aos valores de saída pretendidos.

Humidade Inicial	Condição Máquina		Valor esperado	Valor Real
	Velocidade	Caudal		
3,9	2	1 injetor, posição normal	7,79	7,34
4	2	1 injetor, posição normal	7,86	7,41
4,1	3	2 injetores, posição normal	6,9	7,32
4,2	3	2 injetores, posição normal	7,01	6,74
4,3	3	2 injetores, posição normal	7,13	7,6
4,5	3	1 injetor, posição normal	6,88	7,96
4,5	3	1 injetor, posição +	6,97	7,54
4,7	3	1 injetor, posição +	7,19	7,66
5	3	1 injetor, posição normal	7,38	7,18
5,1	3	1 injetor, posição normal	7,48	8,35
5,3	3	1 injetor, posição normal	7,68	8,16
5,3	3	1 injetor, posição normal	7,68	7,99
5,3	3	1 injetor, posição normal	7,68	8,35
5,4	3	1 injetor, posição normal	7,78	8,21
5,4	3	1 injetor, posição normal	7,78	7,89
5,4	3	1 injetor, posição normal	7,78	8,31
5,5	3	1 injetor, posição normal	7,88	8,36
5,6	3	1 injetor, posição normal	7,98	8,86
5,6	3	1 injetor, posição normal	7,98	8,33
5,7	3	1 injetor, posição normal	8,08	7,87
5,7	3	1 injetor, posição normal	8,08	8,33
5,7	3	1 injetor, posição normal	8,08	9,03
5,8	3	1 injetor, posição normal	8,18	7,48
5,8	3	1 injetor, posição normal	8,18	7,96
5,9	3	1 injetor, posição normal	8,28	8,75

Figura 29 - Dados recolhidos após utilização da equação formulada

Na Figura 29 estão representados os dados recolhidos das humidificações feitas já com a utilização da equação. Como se pode ver e como foi referido anteriormente, alguns valores encontram-se fora do intervalo definido (6% a 8%) mas, as condições mínimas de humidificação na máquina (velocidade 3 e um injetor ligado com a torneira na posição normal), não permitem valores abaixo do demonstrado. Na secção 5.2 apresenta-se uma das sugestões para combater esta impossibilidade de melhor centralização do processo.

Com os valores da figura acima, foi feito também um gráfico para uma melhor percepção das diferenças entre os valores reais e os valores esperados pela fórmula nesta fase do processo (Figura 30).



Figura 30- Gráfico de análise dos valores reais das humidades médias das rolhas e do valor esperado pela fórmula

4.3.4 Elaboração da nova tabela de apoio ao processo de humidificação

Após a análise dos resultados obtidos aquando da humidificação das rolhas seguindo a equação formulada, procedeu-se à elaboração de uma nova tabela para dar apoio ao operário no processo.

Para alguns intervalos de humidades iniciais é possível ter-se mais do que uma combinação de caudal de água e velocidade do tapete.

A escolha das especificações da máquina, nesses casos, fica ao critério do operário, que deve ter em conta os valores de humidade e temperatura do armazém, bem como, o valor máximo e o valor mínimo de humidade, da amostra de onde são medidas as humidades iniciais das rolhas.

A Tabela 6 representa a nova tabela de apoio para o processo de humidificação.

Tabela 6- Nova tabela de apoio ao processo de humidificação

Humidade inicial (%)	3,5 - 4,0	4,1 - 4,5	4,6 - 5	5 - 5,5	5,6 - 6
Máquina	Valor esperado (%)				
2 1 B	7,5 - 7,9				
3 2B	6,2 - 6,8	6,9 - 7,4	7,5 - 7,9		
3 1B +			7,1 - 7,5	7,6 - 8	
3 1B			7 - 7,3	7,5 - 7,9	8 - 8,4

4.4 Controlar

Esta fase do processo passou por medir novamente a capacidade do processo após a introdução das novas medidas para a humidificação das rolhas, para sustentação das melhorias alcançadas. Para esta medição de capacidade usaram-se os dados da fase de teste com as novas instruções de trabalho, com os *setups* e amostragens utilizados nessa mesma fase.

4.4.1 Capacidade do processo após as novas medidas

Apesar dos padrões de segurança da empresa para a humidade das rolhas na fase pré-parafinação ser entre 5,4% e 9%, sabe-se que o responsável de produção arrisca parafinar as rolhas se estas tiverem humidades até 10% porque, como foi referido anteriormente, o tambor onde é feita a parafinação pode levar as rolhas às humidades pretendidas se fizer este tratamento com aquecimento.

Assim sendo o estudo de capacidade feito nesta fase para comparar o antes e o depois contemplou o intervalo de humidades para as rolhas entre 5,4% e 10%.

A figura 31 representa a análise de capacidade devolvida pelo Minitab pelo estudo dos dados recolhidos antes e depois das novas medidas no processo de humidificação.

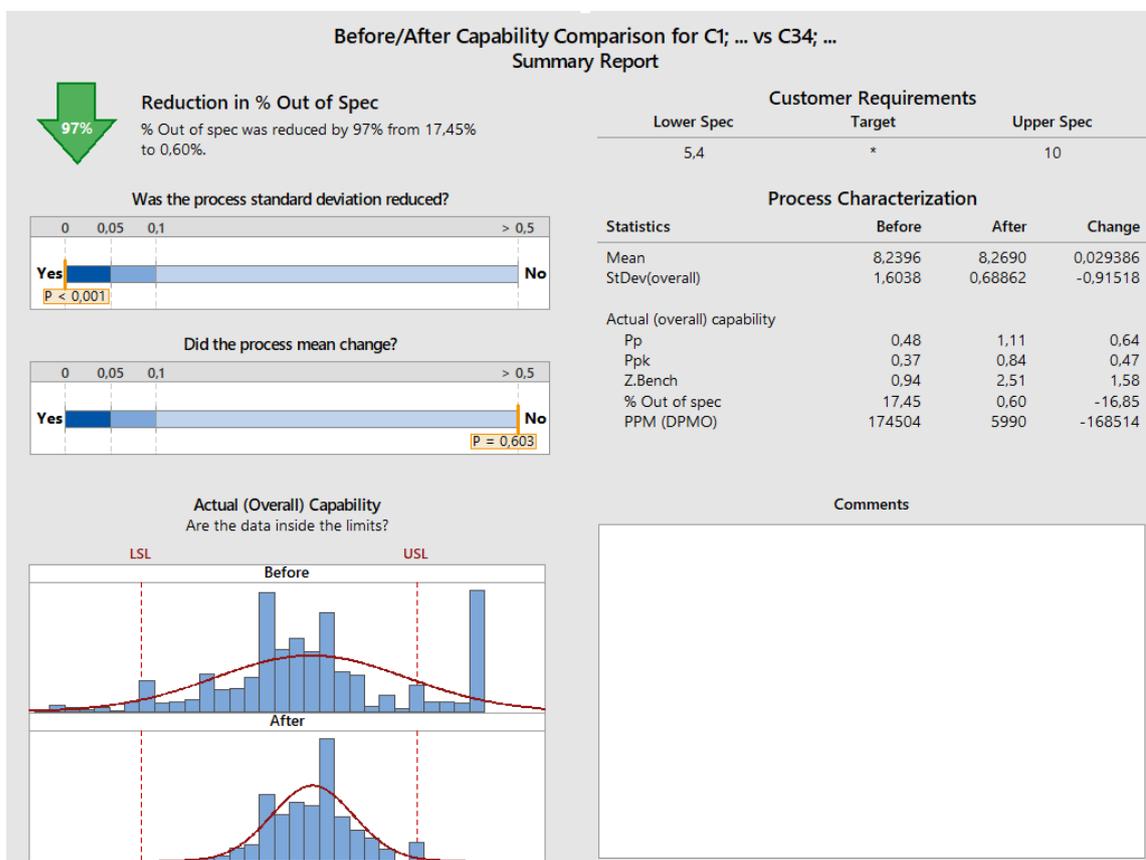


Figura 31- Análise comparativa da capacidade do processo antes e depois das novas medidas, pelo Minitab

Pela análise dos dados da figura percebe-se que houve uma melhoria muito significativa na capacidade do processo por comparação do antes e do depois.

Logo à partida no que diz respeito à percentagem de peças fora das especificações pretendidas, houve uma redução de 97%, passando-se de 17,45% de peças com defeito para apenas 0,60%.

Quanto ao valor de Pp e Ppk, aumentou-se de 0,48 para 1,11 e de 0,37 para 0,84, respetivamente.

No que diz respeito à capacidade sigma do processo, também esta foi aumentada de $2,44\sigma$ ($0,94+1,5$) para $4,01\sigma$ ($2,51+1,5$).

Pode também observar-se pela análise dos histogramas que se eliminou os valores a baixo do limite inferior de especificação (LSL), sendo que também se reduziu consideravelmente os valores a cima do limite superior de especificação (USL) e, conseqüentemente, chegou-se a um valor quase nulo de reprocessos.

Pela análise visual do gráfico e em concordância com os dados devolvidos pelo Minitab, pode aferir-se que, apesar da centralidade do processo quase não ter sido alterada, conseguiu-se reduzir consideravelmente a variabilidade do mesmo. Presume-se que esta falta de melhoria em relação à centralidade do processo se deve às limitações da máquina no que à velocidade diz respeito.

Note-se que seria necessário rever também a fórmula e estudar a influência de alguns parâmetros da mesma, que podem estar a criar desvios no resultado final.

Também é de referir que, devido ao curto tempo de desenvolvimento do projeto, não foi possível ter um número mais considerável de registos (pós novas medidas) para se afiançar com mais certeza os resultados obtidos.

4.5 Influência da humidade do ar no processo

Apesar de se ter considerado como constante a humidade do ar no armazém, presume-se que esta também tenha influência na fase de estabilização de humidade das rolhas no *ropak*.

Só por uma questão de registo e de curta análise, e como introdução para um trabalho futuro, fizeram-se 3 gráficos com os dados registados, com o intuito de perceber como variava a humidade das rolhas nesse período de estabilização no *ropak* e como estas se comportavam em relação a diferentes humidades no armazém.

Na Figura 32 pode ver-se o gráfico de variação da humidade média das rolhas na fase de estabilização.

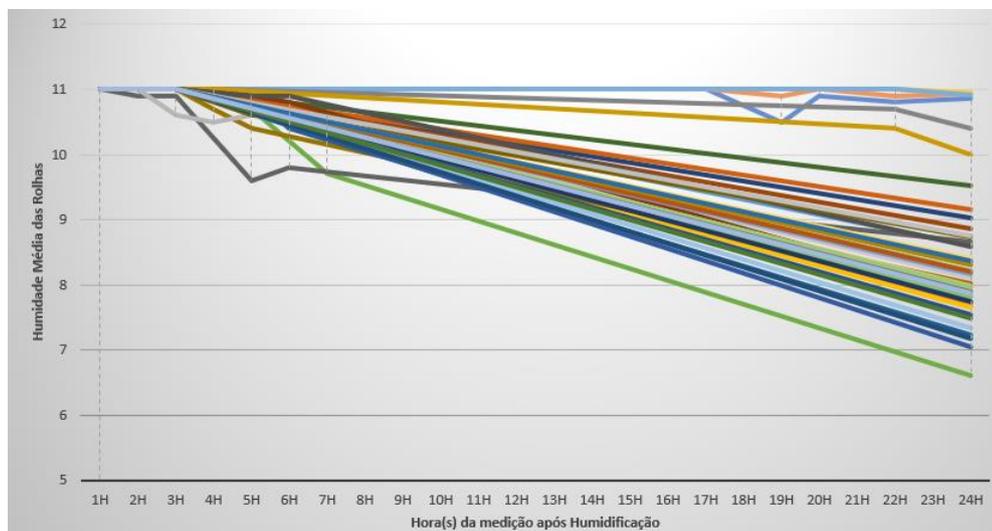


Figura 32- Gráfico de variação da humidade média das rolhas na fase de estabilização no *ropak*

É de referir que nem sempre foi possível medir as humidades das rolhas a cada hora da fase de estabilização, mas mediu-se sempre que possível para se tentar perceber melhor a variação de humidades nesta fase.

Serve o gráfico da figura 32 para, através da análise visual, se perceber que as variações de humidade nas primeiras 3 horas são pouco significativas e que, a partir desse momento, as rolhas começam a perder e a estabilizar a humidade proveniente da humidificação na máquina.

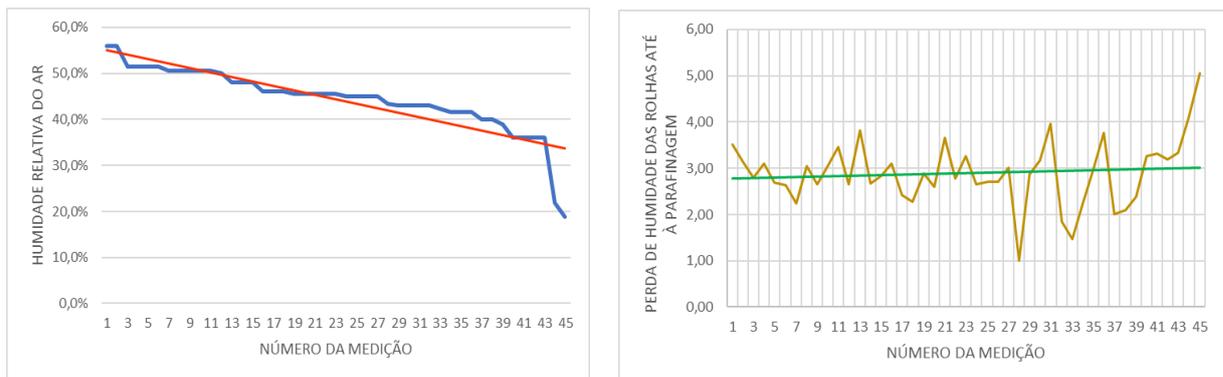


Figura 33- Gráfico da variação da humidade do ar no armazém; Gráfico da perda de humidade das rolhas

O gráfico do lado esquerdo da Figura 33 representa um conjunto de humidades diferentes registadas no armazém e o gráfico do lado direito representa a respetiva perda de humidade das rolhas.

Os valores da perda de humidade nas rolhas registados no gráfico foram calculados pela subtração do valor médio de humidade das rolhas nas primeiras 3 horas (pela análise da Figura 32 presume-se que nesse período a perda de humidade é quase insignificante) ao valor de humidade das rolhas às 24 horas após humidificação.

As linhas vermelha e azul são linhas de tendência e, fazendo uma análise visual dos gráficos e das linhas de tendência, percebe-se que, quanto maior a humidade no armazém, a perda de humidade nas rolhas tende a ser menor.

Este gráfico contempla os escassos valores de baixa humidade do armazém medidos.

Assim sendo, e servindo esta curta análise como uma introdução a um trabalho futuro, seria interessante fazer-se um desenho de experiência da fase de estabilização das rolhas no *ropak*.

5 Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros

Neste capítulo apresenta-se as principais conclusões em relação à realização do projeto, bem como um balanço dos resultados obtidos, quantificando-se os mesmos.

Finalmente, são propostos alguns trabalhos a serem desenvolvidos no futuro, no sentido de aprimorar e melhorar ainda mais o processo.

5.1 Conclusões

Este projeto incidiu unicamente no processo de humidificação das rolhas. O objetivo do mesmo era analisar a metodologia e a máquina de maneira a aumentar a capacidade do processo. Consistia em rever os *standarts*, o processo e otimizar a capacidade do mesmo, diminuindo assim os reprocessos.

No decorrer deste projeto foi possível constatar a complexidade inerente ao processamento industrial de um material como a cortiça, essencialmente devido às suas características. Apesar de ser um material extremamente fiável, a produção de rolhas de cortiça exige que se atue com muito rigor ao longo de toda uma linha de produção.

Neste projeto da fase de humidificação das rolhas, percebeu-se que o comportamento da cortiça em relação à humidade relativa apresenta bastante variabilidade e é, por vezes, imprevisível. Logo à partida, as humidades iniciais das rolhas (antes de serem humidificadas) apresentam valores muito dispersos independentemente da humidade relativa e temperatura do ambiente, o que dificultou por vezes uma previsão acertada para os resultados a obter.

O desenvolvimento deste projeto contemplava um aumento de capacidade sem muitos custos para a empresa e usando as condições e recursos disponíveis. Dentro destas condições, o trabalho desenvolvido teve um impacto muito positivo quando comparado com o estado inicial, com novas medidas que foram desde a introdução do uso de luvas na medição das humidades das rolhas, até à aprovação de uma nova tabela de orientação para o operário na escolha das especificações da máquina de humidificação.

Contudo, só será possível assegurar a estagnação destes defeitos e a estabilização da eficiência, ao eliminar a grande variabilidade de humidade das rolhas antes da humidificação, usando, por exemplo, uma estufa, que mantenha as rolhas todas sensivelmente à mesma humidade, de forma a usar-se sempre os mesmos parâmetros na máquina de humidificar.

Todo o estudo feito só contemplou humidades relativas do ar acima dos 35% pois, na altura do ano em que foi feito o estudo, as condições meteorológicas quase nunca contemplaram valores inferiores a esse, pelo que o trabalho realizado e as conclusões desse mesmo trabalho prendem-se com as condições ambientes que se vive nesta altura do ano.

Neste período de estudo também não foi possível estudar com rigor a fase de estabilização das rolhas nos *ropaks*, embora se suspeite que haja uma influência considerável do modo e tempo de armazenamento das rolhas na sua humidade final.

5.2 Perspetivas de trabalhos futuros

Após a apresentação dos resultados aos responsáveis de produção da fábrica, a opinião foi bastante positiva, havendo a expectativa que as medidas propostas, quando aplicadas em grande escala, possam trazer o mesmo tipo de resultados aos apresentados até então. Assim sendo, o primeiro trabalho futuro passaria por essa envolvimento a grande escala e a monitorização do impacto das alterações.

Logo à partida, seria também interessante para um trabalho futuro fazer um estudo idêntico ao realizado mas, desta feita, para as condições de humidade do ar mais baixas. Assim ter-se-ia uma nova tabela para ser usada nas condições ambiente que não se vivenciaram aquando deste estudo.

Outro aspeto importante, seria estudar com rigor e precisão a fase de estabilização das rolhas nos *ropaks*, tendo-se em conta o tipo de armazenamento, o tempo de armazenamento e a posição relativa das rolhas no próprio *ropak*, isto é, perceber de que maneira varia o comportamento da rolha estando esta numa zona mais superficial ou mais funda.

Apesar de se saber que não se pode extrapolar os resultados obtidos no DoE, presume-se que, se a máquina tivesse uma maior variabilidade de velocidades, isto é, se tivesse velocidades mais rápidas, seria possível reduzir a quantidade de rolhas que surgem na fase pré-parafinação com valores de humidade acima dos limites de especificação e, desta forma, centralizar-se melhor o processo. Assim sendo seria interessante estudar também essa possibilidade.

Para um estudo mais detalhado, poderia também fazer-se futuramente um DoE separado para cada *setup* da máquina, ao invés de se misturar todos os *setups* no mesmo estudo tal como foi feito neste projeto.

Referências

- APCOR (2018), “Anuário da cortiça 18/19” , disponível em: http://www.apcor.pt/wp-content/uploads/2018/12/Anuario_APCOR_2018.pdf
- Barney, M.; McCarty, T. (2003) “The new six sigma: a leader’s guide to achieve rapid business improvement and sustainable results”, Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Breyfogle III, F. W. (2003). Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods. Technometrics (pp. 1187). John Wiley & Sons, Inc
- Down, M., Gruska, G., Czubak, F., Stahley, S., & Benham, D. (2010). Measurement System Analysis (4ª ed.). Southfield, Michigan: Automotive Industry Action Group.
- Eckes, George, (2001) “Six Sigma Team Dynamics: The Elusive Key to Project Success”, John Wiley & Sons, Inc.
- Gryna, Frank M., Chua, Richard C.H., and Joseph A. DeFeo (2005), “Juran's Quality Planning and Analysis for Enterprise Quality, Fifth Edition”, McGraw-Hill
- Guimarães, R.C. e Cabral, J.A.S. (2007), Estatística, McGraw Hill.
- Harry, M. J.; Schroeder, R. (2001) “Six Sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing the world’s top corporations”, London: currency Publishers.
- Keller, Paul (2005), “Six Sigma Demystified”, McGraw-Hill, New York.
- Kumar, M., Antony, Jiju, Antony, F. J., & Madu, C. N. (2007). Winning customer loyalty in an automotive company through Six Sigma: a case study. International Journal of Quality Reliability Management, 23(7), 849-866
- Maleyeff, J., & Kaminsky, F. C. (2002) “Six Sigma and introductory statistics education”, Education & training, 44, 82-89
- Maroco, J. (2003), Análise Estatística - com utilização do SPSS, Edições Sílabo.
- Montgomery, D. 2009, “Introduction to Statistical Quality Control”, Edições Wiley. Nova Jérícia, Estados Unidos.
- Murteira, B. e Antunes, M., (2012), Probabilidade e Estatística, Escolar Editora, Volume 2.
- Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. R. (2000). The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies are Honing Their Performance. Quality Progress (pp. 422). McGraw-Hill Professional.
- Rich, N., Bateman, N., Esain, A., Massey, L., & Samuel, D. (2006). *Lean Evolution - Lesson from the Workplace*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Roderick, A. et al. 2015, “The Certified Six Sigma Green Belt Handbook”, Edições American Society for Quality. Milwaukee, Estados Unidos

Sung H. Park, (2003) “Six Sigma for Quality and Productivity Promotion“, Asian Productivity Organization

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Lean Thinking - Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. New York: Free Press.