



**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE SERGIPE -
FANESE CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

JUAREZ BIGI DOS SANTOS JÚNIOR

**FERRAMENTAS DA QUALIDADE E SUAS APLICAÇÕES
PRÁTICAS NA REDUÇÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO
DE ENERGIA ELÉTRICA NA INDÚSTRIA CIMENTEIRA**

**Aracaju - SE
2024.1**

JUAREZ BIGI DOS SANTOS JÚNIOR

**FERRAMENTAS DA QUALIDADE E SUAS APLICAÇÕES
PRÁTICAS NA REDUÇÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO
DE ENERGIA ELÉTRICA NA INDÚSTRIA CIMENTEIRA**

Projeto apresentado à
Coordenação de Engenharia de
Produção da FANESE, em
cumprimento da disciplina Projeto
de Engenharia I Obrigatório.

Orientador: Prof. Dr. Marcos
Antonio Passos Chagas

Coordenador do Curso: MSc.
Elisio Cristóvão Santos

S237f

SANTOS JUNIOR, Juarez Bigi dos

Ferramentas da qualidade e suas aplicações práticas na redução do consumo específico de energia elétrica na indústria cimenteira / Juarez Bigi dos Santos Junior. - Aracaju, 2024. 63 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia)
Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe.
Coordenação de Engenharia de Produção.

Orientador (a): Prof. Dr. Marcos Antonio Passos Chagas

1. Engenharia de Produção 2. Ferramentas da Qualidade 3. Processo Produtivo 4. Empresas I. Título

CDU 658.5 (043.2)

Elaborada pela Bibliotecária Edla de Fatima S. Evangelista CRB-5/1029

JUAREZ BIGI DOS SANTOS JÚNIOR**FERRAMENTAS DA QUALIDADE: APLICAÇÃO PRÁTICA DAS
FERRAMENTAS DA QUALIDADE NA REDUÇÃO DO CONSUMO
ESPECÍFICO DE ENERGIA ELÉTRICA NA INDÚSTRIA
CIMENTEIRA**

Projeto apresentado à Coordenação do curso de Engenharia de Produção da FANESE, em cumprimento da disciplina Projeto de Engenharia II Obrigatório e elemento obrigatório para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção, no período de 2024.01.

Aracaju (SE), 03 de junho de 2024.01Nota/Conteúdo: (10,0)Nota/Metodologia: (10,0)Média Ponderada: (10,0)

Juarez Bigi dos Santos Júnior
Juarez Bigi Dos Santos Júnior

Marcos Antonio Passos Chagas
Prof. Dr. Marcos Antonio Passos Chagas

Heloisa Thais R. de Souza
Prof.^a Dr.^a Heloisa Thais Rodrigues de Souza

Jeane Karla de Mendonça Mota
Prof.^a Dr.^a Jeane Karla de Mendonça Mota

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida. Em seguida a minha mãe, *in memoriam*, que sempre foi meu colo, minha vida, sempre cuidou de mim e fez todo o possível para me criar, educar e me preparar para a vida. Meus Professores que também acreditaram em mim e me deram o suporte necessário durante todos esses anos de estudo e pesquisas.

Agradeço a minha família, irmãos, cunhado (a), sobrinhos por estarem sempre por perto.

Agradeço a minha família, esposa Valdilene que sempre me incentivou e me deu suporte necessário para seguir, para minhas filhas Gabriela e Isabela que pude dar exemplo que desistir não é uma opção quando o objetivo é o sucesso e felicidade.

Aos meus amigos e colegas de trabalho que incentivavam a continuar, em especial ao Jairo Souza que apoiou de forma contínua nesse processo, marrento você é top.

Agradeço a meu pai Juarez Bigi que sempre sonhou com esse momento e por ele também não desistir, conseguimos meu veio.

RESUMO

Com uma grande diversidade de empresas e uma forte concorrência de mercado nos dias atuais, as empresas buscam cada vez mais reduzir o custo de fabricação de seus produtos, para assim, conseguir comercializá-los com preços mais acessíveis. Diante disso, elas buscam maneiras para melhorar sua performance e aumentar a eficiência do processo produtivo, e as ferramentas da qualidade são bastante relevantes e úteis para a solução de determinados problemas e a busca pela melhoria contínua. Esse trabalho aborda a questão: Como reduzir o custo de fabricação numa indústria cimenteira utilizando as ferramentas da qualidade? Tendo como objetivo geral a redução do custo em um dos setores no segmento de uma numa indústria cimenteira utilizando gestão de qualidade com algumas de suas ferramentas, e como objetivos específicos, realizar avaliação do cenário de custo de fabricação na fase farinha, utilizar as ferramentas de qualidade para diminuir o consumo de energia elétrica e reduzir custo de fabricação de farinha, na indústria cimenteira.

Neste estudo de caso, as ferramentas são utilizadas para estudo e redução do consumo específico de energia elétrica no processo de fabricação de farinha em uma indústria cimenteira. Ferramentas como Diagrama de Ishikawa, Diagrama de árvore, Ciclo PDCA, 5 porquês, dentre outras, são aplicadas de maneira a descobrir as principais causas a qual gera esse alto consumo de energia, propondo assim, soluções para uma melhor eficiência, e consequente redução do consumo. Os resultados adquiridos após a aplicação das ferramentas, mostram os principais motivos que levam a um alto consumo de energia específico, que devem ser considerados e tratados. Após tratativas, a partir de uma melhor performance e uma maior eficiência dos equipamentos, o objetivo principal do trabalho foi atingido.

Palavras-chaves: Ferramentas da qualidade; Processo produtivo; Empresas.

ABSTRACT

With a great diversity of companies and strong market competition nowadays, companies are increasingly seeking to reduce the manufacturing cost of their products, in order to be able to sell them at more affordable prices. Therefore, they look for ways to improve their performance and increase the efficiency of the production process, and quality tools are very relevant and useful for solving certain problems and seeking continuous improvement. This work addresses the question: How to reduce the cost of manufacturing in a cement industry using quality tools? With the general objective of reducing costs in one of the sectors in the segment of a cement industry using quality management with some of its tools, and as specific objectives, carrying out an assessment of the manufacturing cost scenario in the flour phase, using the quality to reduce electricity consumption and reduce the cost of flour manufacturing in the cement industry. In this case study, the tools are used to study and reduce the specific consumption of electricity in the flour manufacturing process in a cement industry. Tools such as Ishikawa Diagram, Tree Diagram, PDCA Cycle, 5 Whys, among others, are applied in order to discover the main causes that generate this high energy consumption, thus proposing solutions for better efficiency, and consequent reduction of consumption. The results acquired after applying the tools show the main reasons that lead to high specific energy consumption, which must be considered and addressed. After negotiations, based on better performance and greater efficiency of the equipment, the main objective of the work was achieved.

Keywords: Quality tools; Production Process; Companies.

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - Variáveis e indicadores da pesquisa	35
Quadro 2 – Consumo de energia moinho de farinha 2	41
Quadro 2 – Consumo de energia moinho de farinha 3	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de energia moinho de farinha 2	43
Tabela 2 - Consumo de energia moinho de farinha 3	45
Tabela 3 – 5 Porquês exaustor de saída (R2S17)	47
Tabela 4 – 5 Porquês exaustor de saída (R2M03)	49
Tabela 5 – Dados da ação.....	50
Tabela 6 - Dados da ação	51
Tabela 7 – Dados da ação	51
Tabela 8 – Dados da ação	52
Tabela 9 – Dados da ação	52
Tabela 10 – Dados da ação	53
Tabela 11 – Dados da ação	54
Tabela 12 – Dados da ação	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico consumo de energia elétrica	38
Gráfico 2 - Gráfico de definição de meta de redução do consumo.....	39
Gráfico 3 - Consumo específico de energia elétrica após uso das ferramentas.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sequência do processo produtivo	17
Figura 2 – Ciclo PDCA	19
Figura 3 – Exemplo de Diagrama de Pareto	23
Figura 4 – Diagrama de Ishikawa	24
Figura 5 – Exemplo de Histograma	27
Figura 6 – Gráfico de Dispersão	28
Figura 7 – Exemplo de Gráfico de Controle	30
Figura 8 – Ciclo PDCA	37
Figura 9 - Diagrama de Árvore consumo específico de energia	40
Figura 10 - Diagrama Ishikawa consumo de energia exaustor de saída (R2S17)	42
Figura 11 - Diagrama Ishikawa mesa do moinho (R2M03)	44
Figura 12 - Diagrama Ishikawa consumo de energia exaustor de saída (R3S17)	46
Figura 13 - Diagrama Ishikawa consumo de energia exaustor de saída (R3M03)	48

Sumário

1 INTRODUÇÃO	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 CIMENTO E SEU PROCESSO DE FABRICAÇÃO	15
2.2 CICLO PDCA	19
2.3 FERRAMENTAS DA QUALIDADE.....	22
3 METODOLOGIA	33
4.1 Abordagem Metodológica	34
4.2 Caracterização da Pesquisa.....	34
4.3 Instrumentos de Pesquisa	36
4.4 Unidade, Universo e Amostra da Pesquisa	36
4.5 Definição das Variáveis e Indicadores da Pesquisa.....	37
4.6 Plano de Registro e Análise dos Dados	38
4 ANÁLISE DE RESULTADOS	38
5.1 Realizar avaliação do cenário de custo de fabricação de farinha.....	39
5.2 Utilizar as ferramentas de qualidade para diminuir o consumo de energia elétrica	40
5.3 Reduzir custo de fabricação de farinha, na indústria cimenteira.....	57
5 SUGESTÕES	58
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

As ferramentas da qualidade são essenciais para garantir a eficiência e eficácia dos processos de uma organização, permitindo que ela atenda aos requisitos e expectativas de seus clientes. Além disso, elas são capazes de identificar problemas e oportunidades de melhoria nos processos, o que pode levar a uma redução significativa de custos. Quando os processos são bem planejados e executados com qualidade, há menos chances de erros, retrabalhos e desperdícios, o que contribui para uma redução dos custos de produção e melhoria da qualidade dos produtos ou serviços oferecidos. As ferramentas da qualidade, como o controle estatístico de processos, análise de Pareto, diagrama de Ishikawa e outras, fornecem aos gestores e colaboradores uma visão clara e objetiva dos processos, permitindo que eles possam tomar decisões embasadas em dados e informações confiáveis.

A utilização de ferramentas da qualidade é fundamental para garantir a melhoria contínua dos processos e produtos de uma empresa, visando a satisfação dos clientes e a redução de custos. Essas ferramentas são utilizadas para identificar e corrigir problemas, eliminar desperdícios, aumentar a produtividade e eficiência, e garantir a conformidade com as normas e padrões de qualidade. Muitos benefícios se podem obter ao implementar ferramentas da qualidade, as empresas podem evitar retrabalho, reduzir o tempo de produção, diminuir o tempo de inatividade, diminuir o número de defeitos e aumentar a satisfação do cliente, o que pode resultar em aumento das vendas e fidelização dos clientes. Além disso, a redução de custos associada à implementação de ferramentas da qualidade pode aumentar a rentabilidade e a competitividade da empresa no mercado.

Trazendo mais benefícios, as ferramentas da qualidade também podem ajudar a prevenir problemas antes que eles ocorram, por meio da implementação de medidas preventivas e da realização de análises de risco. Isso pode ajudar a

evitar custos adicionais associados a falhas no produto, recalls, multas e processos judiciais.

Dentro da indústria cimenteira existe uma série de oportunidades para redução de custo de fabricação entre eles a energia para aplicar na produção, energia elétrica, e por meios de ferramentas da qualidade é possível com a implementação obter bons resultados em diversos segmentos assim baratear o custo de fabricação.

A redução do consumo de energia é um desafio importante para qualquer indústria, incluindo a cimenteira. A energia necessária na produção de cimento pode ser dividida em dois tipos: térmica e elétrica. Cerca de 20 a 25% dos custos com energia é da energia térmica, utilizada durante o processo de queima de algum material. Já, o consumo da energia elétrica, em plantas cimenteiras modernas, chega a 110-120kWh por tonelada de cimento. Diante desse alto consumo de energia elétrica, ela é um aspecto significativo a ser considerado, uma vez que a produção de cimento é um processo intensivo em energia. A energia elétrica é necessária em várias etapas do processo de fabricação de cimento, como moagem de matéria prima, fornos rotativos, resfriadores, moinhos de bolas e sistemas de transporte. Existem várias tecnologias e práticas que as indústrias cimenteiras podem adotar para otimizar o consumo de energia elétrica e reduzir os custos operacionais, bem como minimizar o impacto ambiental.

Dentre estas práticas tem-se as ferramentas de qualidade que podem ser utilizadas para identificar oportunidades de melhoria e implementar mudanças que resultem em economia de energia. Algumas dessas ferramentas são: Fluxograma; Diagrama Ishikawa (Espinha-de-Peixe); Diagrama de Pareto; Histograma; Diagrama de Dispersão; Cartas de Controle; Folha de Verificação

Na busca de melhorar o coeficiente energético da moagem de uma indústria cimenteira foi realizado uma análise para identificar oportunidades de melhoria para que gerasse um ganho de retorno financeiro.

O resultado da análise com a aplicação de ferramentas da qualidade, direcionou algumas oportunidades para procedimentos, aumento de manutenções de equipamentos, treinamentos, entre outros.

Para resolver essa situação, optou-se pela metodologia de *yellow belt*, onde foram empregadas diversas ferramentas da qualidade.

Diante disto, como reduzir o custo de fabricação numa indústria cimenteira utilizando ferramentas da qualidade?

A partir desta problemática, este trabalho tem como objetivo geral a redução do custo em um dos setores no segmento de uma indústria cimenteira utilizando gestão de qualidade com algumas de suas ferramentas, e como objetivos específicos:

Realizar avaliação do cenário de custo de fabricação na fase farinha;

Utilizar as ferramentas de qualidade para diminuir o consumo de energia elétrica;

Reduzir custo de fabricação de farinha, na indústria cimenteira.

A justificativa desse trabalho se dá pela necessidade de redução específica de energia com a aplicação de ferramentas de qualidade sendo subseqüenciadas por cada fase do projeto e com isso reduzir custos operacionais na fabricação.

A empresa escolhida para aplicação do projeto de melhoria é a Votorantim Cimentos localizada no município de Laranjeiras/SE, empresa onde trabalho, por isso a motivação e enxergando oportunidades de melhoria no processo, vinculado a um projeto interno de formação de *yellow belt*.

A Votorantim Cimentos é uma multinacional brasileira que conquista mercados internacionais e gera divisas para o Brasil, construindo vínculos sustentáveis com todos os seus públicos.

Com unidades no Canadá, Estados Unidos, Bolívia e Brasil, exportam conhecimento em gestão e tecnologia, sendo uma das dez maiores empresas de cimento do mundo.

O Grupo Votorantim iniciou no ramo de cimento em 1940 e já contava com cinco fábricas instaladas nos estados de São Paulo, Paraná, Pernambuco e Rio Grande do Sul.

No Nordeste estão algumas unidades instaladas, Votorantim Cimentos N/NE, Unidade Laranjeira, Unidade Sobral, Unidade Primavera, Unidade São Luis, Unidade Pecém e Unidade Poty Paulista.

A história da Votorantim em Sergipe, na área cimenteira, retoma a década de 60, quando em janeiro de 1967 entrou em funcionamento através da Cia Cimento Portland de Sergipe – CCPS.

Essa antiga fábrica localizada na cidade de Aracaju funcionou até março de 1984, quando seus fornos foram desativados. Com a finalidade de atender o mercado, iniciou suas operações no município de Laranjeiras – SE em dezembro de 1983. Inicialmente, operava apenas com uma linha que possui a capacidade de 1250 toneladas diária de cimento. Em 1998, foi construída a linha II que possui uma capacidade de 2930 toneladas por dia. E em agosto de 2006, para ampliar a produção foi construída a linha III com capacidade de 4250 toneladas por dia. Hoje, a tecnologia nas linhas de produção é uma realidade com equipamentos interligados a computadores que monitoram e tornam o controle do processo mais eficaz e confiável.

Na CIMESA, são produzidos sete tipos de cimento, dentre eles temos: CPII-F-40, CPII-F-32, CPIV-32 (com adição de escória), CPP (Cimento para Poços Petrolíferos) e CPV.

Hoje, com mercado de cimento aquecido, alta capacidade de produção e sua localização estratégica, a Unidade CIMESA passa a atender também a uma demanda internacional, exportando cimento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados os assuntos que auxiliaram na elaboração deste trabalho desde ao processo de fabricação passando pelas ferramentas da qualidade que serão aplicadas. Cada assunto foi colocado buscando um entendimento das ferramentas utilizadas e seus resultados. As ferramentas com gestão da qualidade quando associadas são eficientes na

melhoria de processos trazendo benefícios desde redução de custos até melhora da qualidade e esse é o objetivo do projeto.

2.1 CIMENTO E SEU PROCESSO DE FABRICAÇÃO

A palavra cimento é originada do latim *caementu*, que designava uma espécie de pedra natural de rochedos e não esquadrejada. A origem do cimento remonta há cerca de 4500 anos. Os imponentes monumentos do Egito antigo já utilizavam uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado. (CVB, 2006)

Segundo a Battagin (2008) o desenvolvimento do cimento se deu em 1756 pelo inglês John Smeaton, que conseguiu obter um produto de alta resistência por meio da calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1818, o francês Vicat obteve resultados semelhantes aos de Smeaton, pela mistura de componentes argilosos e calcários. Ele é considerado o inventor do cimento artificial. Já em 1824, Apdin patenteou com o nome de cimento *portland*, a mistura obtida da queima conjunta de pedras calcárias e argila, como produto foi obtida uma mistura que após secar, tornava-se tão dura quando as pedras empregadas nas construções. A solidez, cor e propriedades dessa mistura seca se assemelhavam às rochas da ilha britânica *Portland*, dando origem ao nome cimento *portland*.

No Brasil, as primeiras iniciativas para fabricação de cimento ocorreram no final do século XIX. O marco para a indústria do cimento no Brasil foi em 1926, com a inauguração da fábrica Companhia Brasileira de Cimento *Portland*, em Perus na cidade São Paulo. (SNIC, 2003).

O cimento *Portland*, geralmente conhecido na construção civil apenas como cimento, é um material na forma de um pó fino da ordem de 50 μm , formado por 97% de clínquer e 3% de gesso, que atua como um aglomerante e endurece quando misturado com água. Depois de endurecido, mesmo perante contato com a água, não há alteração em sua estrutura (Paula, 2009).

Segundo a ABCP (2006) as principais matérias primas para fabricação do cimento *portland* são o calcário e argila, esses materiais podem ser extraídos de jazidas subterrâneas ou a céu-aberto.

O calcário é extraído das jazidas e triturado em um britador de martelos, a fim de diminuir seu tamanho. Em seguida, a esse calcário já britado é adicionado argila. Essa mistura é levada ao moinho de rolos, onde serão moídos até a geração de um pó extremamente fino, o qual é chamado de farinha crua. Esse pó é transportado até os silos, onde será balanceado em proporção adequada à produção de cimento.

Após homogeneização nos silos, essa farinha é transportada até a torre de ciclones, onde começa a ocorrer o processo de descarbonatação.

De acordo com Lima (2011) a alimentação do material é feita na parte superior da torre de ciclones. E é necessário que se tenha um ventilador junto à torre de ciclones para aspirar o ar externo através dos arrefecedores que se veem a jusante do forno e que o circundam. A torre de ciclones ao longo do percurso vai fazendo a transferência do calor do ar para o material ocorrendo à perda de CO_2 e iniciando-se a pré-calcinação da farinha de cru.

. Durante a calcinação, verifica-se a dissociação de óxidos de cálcio (CaO) e óxidos de magnésio (MgO), provenientes do carbonato de cálcio (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgCO_3) da matéria prima, junto com a liberação de dióxido de carbono (CO_2) (Ramos, 2015).

Após a passagem pelos ciclones, o material entra no forno rotativo onde ocorrem as reações de clínquerização.

O clínquer, principal constituinte do cimento, é produzido através de uma transformação térmica a elevadas temperaturas (da ordem de 1450°C) de uma mistura rochosa pulverizada, realizada em fornos rotativos. A mistura, denominada de farinha ou cru, contém aproximadamente 80% de carbonato de cálcio (CaCO_3), 15% de dióxido de silício (SiO_2), 3% de óxido de alumínio (Al_2O_3) e proporções menores de outros constituintes, como o ferro e enxofre (Paula, 2009)

O processo de clínquerização ocorre dentro do forno rotativo a temperaturas entre 850 e 1200°C , neste momento é realizada a reação entre os óxidos de cálcio e substâncias sílico-aluminosas, formando produtos constituídos por silicatos dicálcicos ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$), aluminatos tricálcicos ($3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$) e

ferro-aluminatos tetra cálcicos ($4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$). Ao final, a temperaturas entre 1200 e 1450°C ocorre a formação de silicatos tricálcicos ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$), processo conhecido como sinterização. A formação final do clínquer se dá ao atingir a temperatura de 1450°C, seguida de um brusco resfriamento (Ramos, 2015).

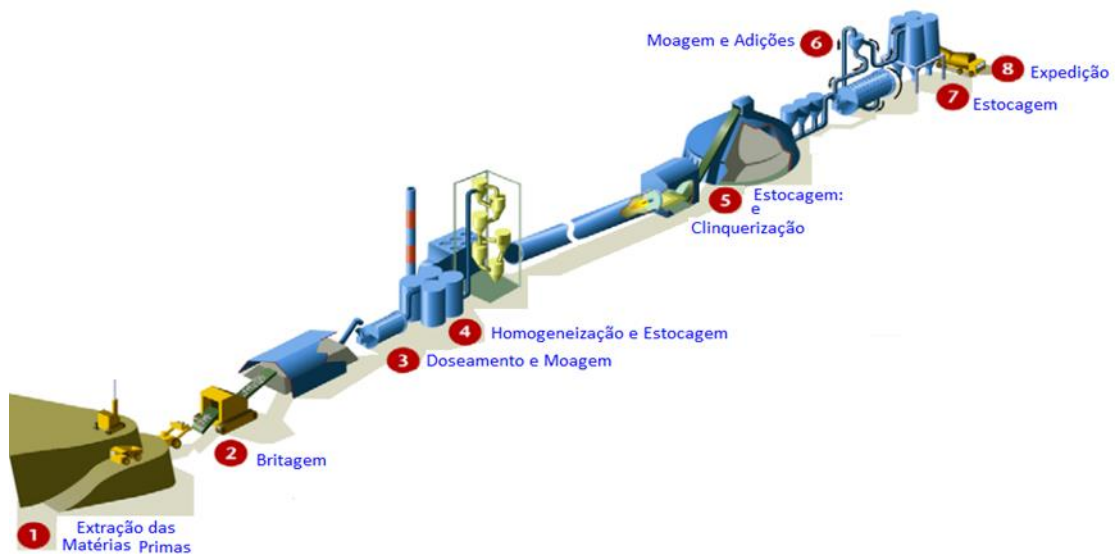
O clínquer deixa o forno com uma temperatura acima de 1400 °C e necessita ser resfriado rapidamente, de forma a fixar suas propriedades termodinâmicas e facilitar o seu manuseio. Esse resfriamento é geralmente realizado em um equipamento chamado de resfriador. O resfriamento se dá através de ar insuflado por entre as grelhas, proveniente de compartimentos separados existentes por baixo (Paula, 2009).

Após o resfriamento, o clínquer é transportado para silos onde é estocado e posteriormente misturado e moído em moinhos de bolas com gesso e outros aditivos, que permitem a obtenção de cimentos de diferentes características.

2.1.1 Classificação do processo da fabricação de cimento

Nesse tópico aborda-se a classificação do processo de fabricação do cimento. Na figura 1 observa-se a sequência do processo de produto.

Figura 1 - Sequência do processo produtivo



Fonte: Werling, 2015.

De acordo com Werling (2015) as etapas do processo de produção são caracterizadas e classificadas da seguinte forma:

- Extração das Matérias primas:
- Britagem
- Doseamento e Moagem
- Homogeneização e Estocagem
- Estocagem e Clínquerização
- Moagem e Adições
- Estocagem
- Expedição

1. Extração do calcário e argila, exploração de pedreiras quando se trata de rochas e xistos; por escavação, técnica usual de movimentação de terras;
2. Britagem; propósito de reduzir o material à condição de grãos de tamanho conveniente.
3. Pré-homogeneização; materiais argilosos e calcários são proporcionados e conduzidos aos moinhos e silos, onde se reduzem a grãos de pequeno tamanho em mistura homogênea
4. Dosagem.
5. Moagem da farinha crua, procede-se à afinação da composição química e da moagem com a finura adequada à cozedura;
6. Homogeneização, a homogeneização da farinha que alimenta o forno é um fator determinante da qualidade do produto à saída do forno;
7. Forno, constituído por um tubo girando lentamente em torno de seu eixo, levemente inclinado, onde se processa a queima de combustível e recebendo pela sua boca superior o cru;
8. Resfriamento;
9. Adições, coloca-se material inerte e outras adições;
10. Moagem do cimento, a moagem do clínquer é realizada em moinhos de bola conjugados com separadores a ar;
11. Armazenamento, em silos ou ensacados;
12. Expedição, em sacos de cimento para distribuidores ou a granel para concreteiras.

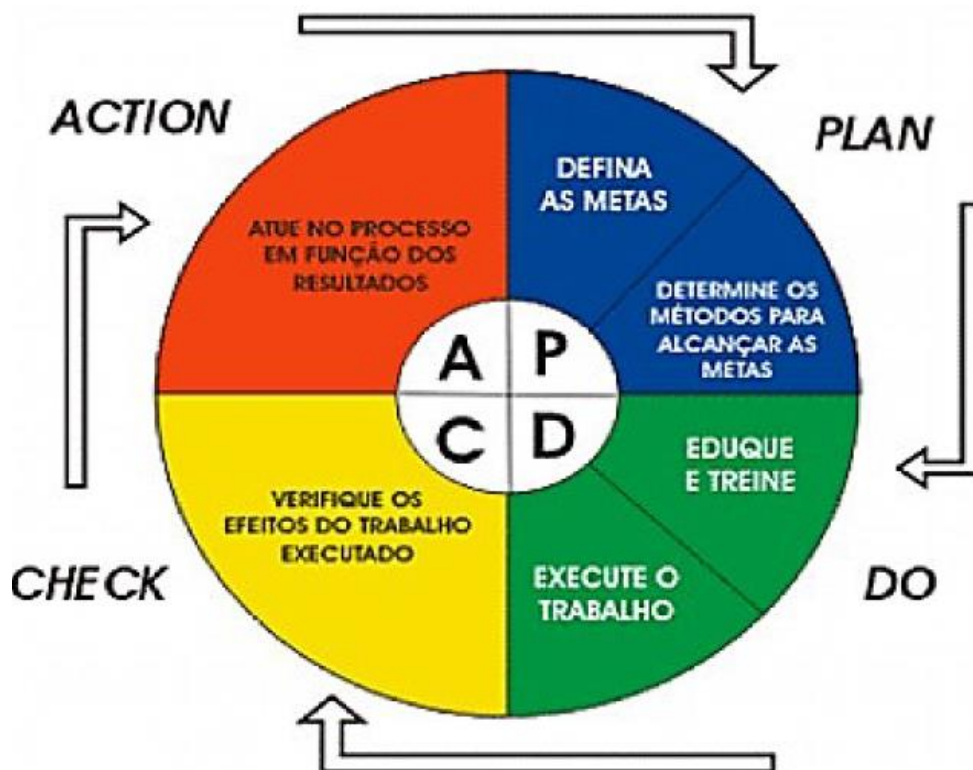
2.2 CICLO PDCA

O ciclo PDCA (sigla de *Plan, Do, Check, Act*) foi criado por Walter Shewart, em 1920, quando era funcionário da companhia telefônica Bell. Porém, foi difundido por W. Edwards Deming, sendo este o motivo para este ciclo ser conhecido também, como o ciclo de Deming. Este método é dinâmico e permite o melhoramento contínuo dos sistemas, no qual no fim de cada processo, este é reavaliado e analisado (Lourenço 2011).

Segundo Aguiar (2006) o PDCA é um método que auxilia as empresas nos desafios envolvendo as necessidades dos clientes e suas mudanças. Além disso, ela juntamente com as ferramentas da qualidade e o conhecimento técnico são voltadas para a manutenção da qualidade (resultados previsíveis), melhoria da qualidade (melhoria dos resultados) e planejamento da qualidade ou inovação (promove mudanças rápidas), permitindo assim, que a empresa atinja as metas de sobrevivência.

O PDCA pode ser aplicado na organização e em cada atividade específica, introduzindo uma cultura de planejamento em cada ação a ser executada (Paladini 2012).

Figura 2 – Ciclo PDCA



Fonte: Campos, 1996.

O *plan*, traduzida para o português como planejar, representa o planejamento das ações que melhorem o desempenho através da coleta e análise de dados, para

definição do problema e de suas causas (Slack *et al.*, 2008). No planejamento deve conter a descrição do problema, objetivo do trabalho, o que se deseja fazer e o que se deseja saber (Godoy, 2010). Consiste em estabelecer as metas, os objetivos e elaborar os procedimentos necessários para o seu atingimento, levando em conta as diretrizes da empresa (Frota, 2008).

O *do* representa a fase de implementação do plano traçado durante o planejamento e é traduzida do inglês para o português como fazer (Slack *et al.*, 2008).

As tarefas estabelecidas devem ser executadas conforme o planejado e deve-se coletar os dados para a verificação do processo (Frota, 2008).

A etapa de execução consiste no treinamento nas tarefas estabelecidas no plano de ação, na execução destas tarefas e na coleta de dados (Werkema, 1995).

O checar, ou no inglês *check*, refere-se a checar se o que foi planejado foi realizado (Slack *et al.*, 2008).

A verificação deve ser realizada através da comparação do resultado obtido com a o que foi planejado a partir dos dados coletados. Sendo assim, deve-se verificar se o realizado está de acordo com o planejado, se os valores medidos variaram e se correspondem com os valores dos objetivos (Frota, 2008).

A partir das informações obtidas através dos dados coletados outras perguntas poderão ser formuladas para o processo/problema em questão. E anotar as lições aprendidas é importante para ser uma fonte de consulta no futuro (Godoy, 2010).

Na verificação confirma se há a efetividade da ação de bloqueio adotada. Se o bloqueio não foi efetivo devemos retornar à fase de planejamento, fazer uma nova análise, elaborar um novo plano de ação (Werkema, 1995).

Refere-se a padronização quando a ação é bem-sucedida e corrigir os desvios iniciando novamente o ciclo caso malsucedida (Slack *et al.*, 2008). 18

É nesta fase que são feitas correções definitivas, após ter sido identificado de modo a eliminar o problema (Frota, 2008).

Esta fase consiste em padronizar as ações que a implementação permitiu o alcance da meta. Para que haja consolidação do alcance da meta de melhoria, a

nova maneira de trabalhar definida deverá ser utilizada no dia a dia (Werkema, 1995).

Após uma análise minuciosa do ciclo é desenvolvido um plano de ação para ser seguido após a conclusão obtida com o estudo do ciclo. Quando as mudanças ocorrerem na etapa do fazer, novas ações de melhoria são iniciadas (Godoy, 2010).

2.3 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

As ferramentas da qualidade são técnicas e métodos utilizados para identificar, analisar e solucionar problemas, melhorar processos e garantir a qualidade de produtos e serviços em uma organização. Essas ferramentas são amplamente empregadas em sistemas de gestão da qualidade, como o Seis Sigma e a ISO 9001, e auxiliam na tomada de decisões baseadas em dados e evidências.

Dentre as ferramentas temos o Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa, Histograma, Diagrama de Dispersão, Gráfico de Controle, Brainstorming, essas são apenas algumas das ferramentas da qualidade mais comuns, sendo que cada ferramenta pode ser aplicada de acordo com a necessidade e o contexto específico da situação a ser analisada.

Bezerra e Tinoco (2019) apontam que a junção das ferramentas da qualidade é utilizada para prever, propor e visualizar soluções em sua gestão, tendo aplicabilidade em múltiplos contextos, podendo ser utilizada de forma correta e com confiabilidade nos dados extraídos.

- **DIAGRAMA DE PARETO**

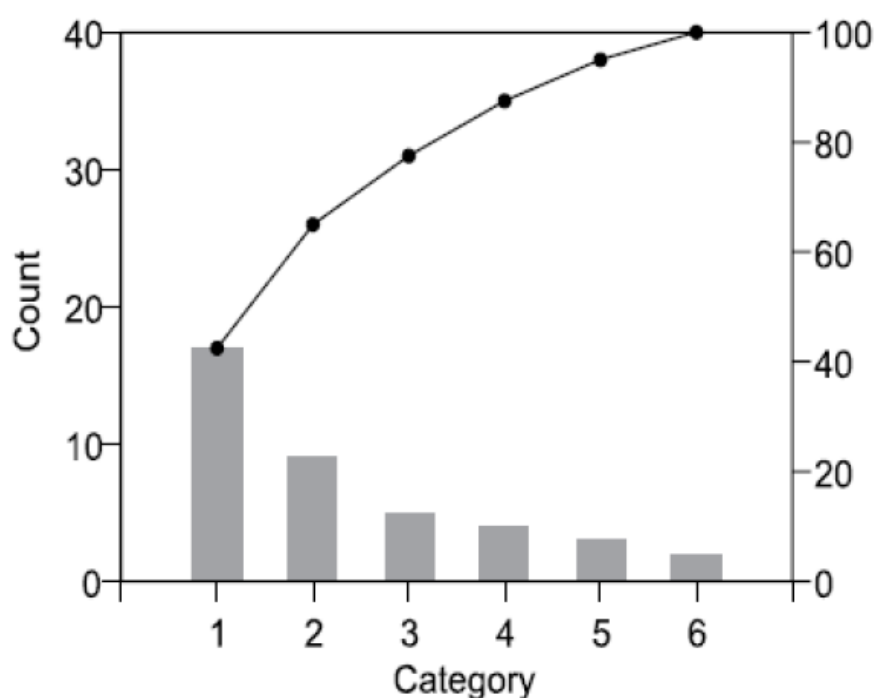
O Diagrama de Pareto é uma ferramenta gráfica que organiza e prioriza os problemas ou causas de um determinado fenômeno de acordo com sua frequência ou impacto, permitindo identificar os principais problemas que devem ser resolvidos.

De acordo com Seleme (2010, p. 88) o Diagrama de Pareto é uma ferramenta desenvolvida por Joseph Juran a partir de análises e estudos realizados pelo economista italiano Vilfredo Pareto e pelo americano Max Otto Lorenz. Os estudos efetuados estabeleciam uma relação de 20/80, no que se refere que 80% dos problemas dentro das organizações, estão em 20% de suas operações. Para Paladini et al. (2012) o Diagrama de Pareto é um gráfico de frequências acumuladas em ordem decrescente, que ajuda a priorizar as causas de defeitos. Ballesterro-Alvarez (2010) destaca que o principal objetivo do Diagrama de Pareto é detectar quais os problemas mais importantes para separá-los dos mais comuns.

O Diagrama de Pareto é construído a partir de dados quantitativos, que podem ser coletados por meio de registros de ocorrências, pesquisas, inspeções ou outras fontes de informação. O objetivo é analisar esses dados e identificar os problemas ou causas que mais ocorrem e que têm maior impacto sobre o resultado desejado.

Para elaborar o Diagrama de Pareto deve-se inicialmente identificar o que vai ser analisado e em seguida coletar os dados (Folha de Verificação). Os dados devem ser reunidos dentro de cada categoria. Em seguida, deve-se realizar os cálculos dos percentuais (%) e percentual acumulado (%acc). Sugere-se a elaboração de um eixo horizontal e dois eixos verticais (Graeml; Peinado, 2007).

Em seguida, deve-se listar no eixo horizontal os motivos do problema em ordem decrescente de frequência da esquerda para a direita. Os itens de menor importância deve ser colocados juntos dentro da categoria “Outros”. No eixo vertical da direita, fazer uma escala de 0 a 100%, informando o valor percentual acumulado. No eixo vertical da esquerda, uma escala de 0 até o valor total da amostra (Graeml; Peinado, 2007).

Figura 3 – Exemplo de Diagrama de Pareto

Fonte: Wilkinson, 2006

- **DIAGRAMA DE ISHIKAWA**

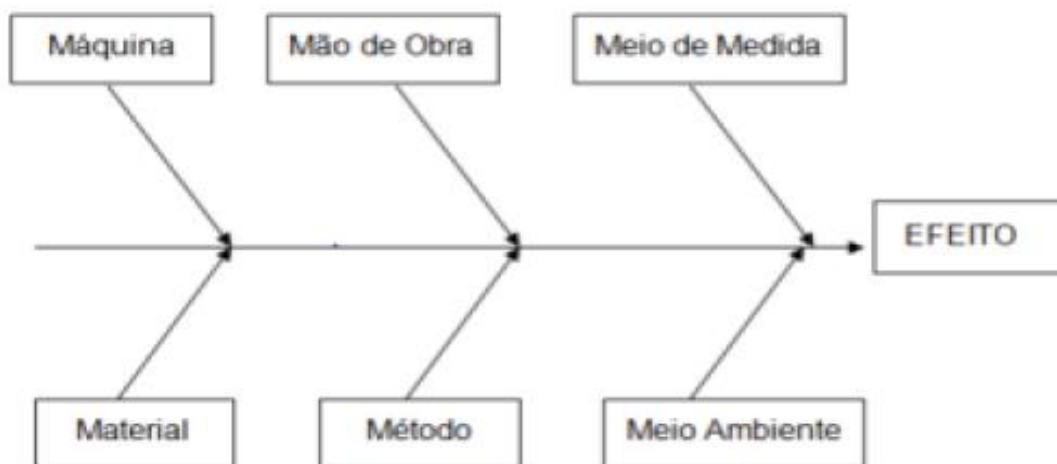
O Diagrama de Ishikawa é uma ferramenta que ajuda a identificar e visualizar as possíveis causas de um problema, relacionando-as em categorias como pessoas, processos, máquinas, materiais, entre outras.

O Diagrama de Causa e Efeito, como também é chamado, é utilizado para descobrir a relação entre um efeito e as causas que estão provocando este efeito, proporcionando uma melhor visualização. Foi aplicado inicialmente no

Japão. Esta ferramenta permite descobrir, organizar e resumir conhecimentos de um grupo a respeito das possíveis causas que contribuem para um determinado efeito (Seleme; Stadler, 2012).

Segundo Bezerra e Tinoco (2019) no diagrama de Ishikawa se evidencia o problema para descobrir quais são as suas causas. O problema deve ser colocado como a “cabeça do peixe”, e suas prováveis causas alocadas onde seriam as “espinhas do peixe”, as sub causas colocadas nas linhas onde seriam as “espinhas do peixe”, conforme figura abaixo:

Figura 4 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: Corrêa e Corrêa, 2012

O Diagrama de Ishikawa é construído a partir de um brainstorming em grupo, no qual os participantes identificam e categorizam as possíveis causas do problema em diferentes áreas.

Os passos para a construção de um Diagrama de Ishikawa segundo Corrêa (2012) são os seguintes:

1. Identificação do problema: Defina claramente o problema ou efeito indesejado a ser investigado e anote-o na extremidade direita do diagrama.
2. Categorização das causas: Em grupo, identifique as possíveis causas do problema e agrupe-as em categorias ou áreas de influência. Exemplos

comuns de categorias são pessoas, processos, máquinas, materiais, ambiente e métodos.

3. Construção do diagrama: Desenhe uma linha horizontal que represente o problema na extremidade direita e linhas inclinadas que representem as categorias de causas na direção oposta. Em seguida, liste as possíveis causas específicas em cada categoria.

4. Análise e priorização: Após identificar as causas potenciais, é possível realizar uma análise mais aprofundada para priorizar as causas mais relevantes e verificar as inter-relações entre elas.

O Diagrama de Ishikawa é uma ferramenta visual e colaborativa que ajuda a equipe a entender e analisar as múltiplas causas de um problema, facilitando a identificação de soluções eficazes e a implementação de ações corretivas.

O diagrama foi utilizado no trabalho para encontrar as possíveis causas dos problemas existentes em cada equipamento que foi avaliado como maior consumidor de energia no processo de fabricação da farinha.

- **HISTOGRAMA**

O Histograma é um gráfico de barras que representa a distribuição de dados em uma determinada amostra, permitindo identificar padrões, tendências e variações nos processos.

É uma ferramenta estatística da qualidade e é usado para mostrar a variação em um processo em determinado período. Esta ferramenta apresenta os dados numéricos de forma mais simples, do que inseridos em grandes tabelas ou relatórios numéricos. Com ele pode-se verificar a frequência de vezes que as saídas de um processo estão padronizadas, atendendo aos requisitos estabelecidos e qual a variação que elas sofrem (Banas, 2012).

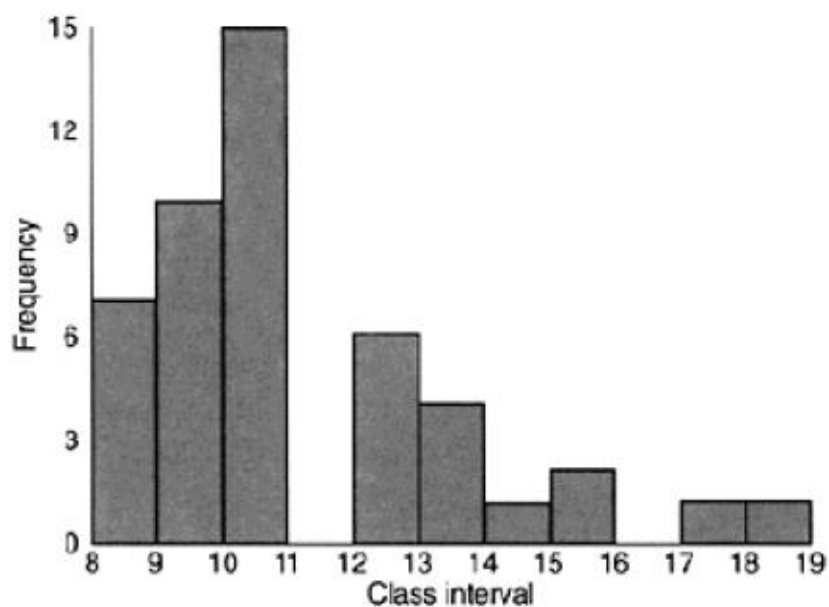
Seleme (2010, p.70) relata que “Os histogramas permitem o reconhecimento de padrões de uma determinada amostra que é representativa de toda a população”. Ordenando os dados de forma rígida e seguindo uma certa

regra de distribuição, facilita a análise de problemas transparecido no histograma Seleme (2010).

Os histogramas são compostos por barras verticais que representam a frequência ou a contagem de observações em cada intervalo de dados. Cada barra do histograma representa uma categoria ou intervalo de valores, e a altura da barra indica a frequência com que esses valores ocorrem.

Os passos para a construção de um histograma são os seguintes:

1. Coleta de dados: Reúna os dados que serão analisados e organize-os em intervalos ou categorias, de acordo com a natureza da informação.
2. Definição dos intervalos: Determine o número de intervalos ou categorias a serem utilizados no histograma e a amplitude de cada intervalo, de modo a representar adequadamente a distribuição dos dados.
3. Construção do gráfico: Desenhe um eixo horizontal que represente os valores dos dados e um eixo vertical que represente as frequências ou contagens. Em seguida, desenhe as barras do histograma, uma para cada intervalo, com alturas proporcionais à frequência de dados nesse intervalo.
4. Análise dos dados: Analise o histograma para identificar padrões, tendências, variações e distribuições nos dados. Observe a forma da distribuição (simétrica, assimétrica, bimodal, etc.) e quais intervalos possuem maior ou menor frequência.
5. Interpretação dos resultados: Utilize as informações obtidas no histograma para tomar decisões informadas, identificar áreas de melhoria, detectar anomalias ou tendências nos dados e avaliar a eficácia de ações corretivas ou de melhorias implementadas.

Figura 5 – Exemplo de Histograma

Fonte: Dahlgaard; Kristensen; Kanji, 2007

Os histogramas são uma ferramenta poderosa para a análise de dados quantitativos e a visualização da distribuição de informações de forma clara e objetiva.

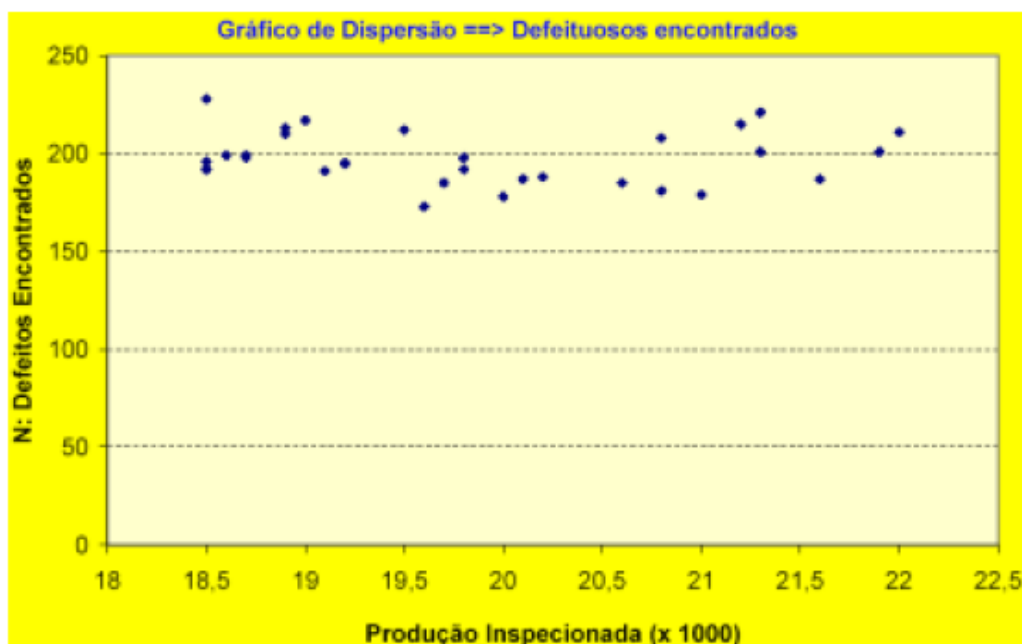
- **DIAGRAMA DE DISPERSÃO**

O Diagrama de Dispersão é uma representação gráfica que permite visualizar a relação entre duas variáveis e identificar possíveis correlações ou padrões de comportamento.

Ele é usado para analisar a relação entre variáveis e em que intensidade a mudança de um dado impacta o outro. Mostra o que acontece com uma variável quando a outra muda, para testar possíveis relações de causa e efeito. Para usar o Diagrama de Dispersão é preciso entender a causa e o efeito que se deseja descobrir a correlação, ou seja, é a etapa seguinte do Diagrama de Causa e Efeito. Com ele, pode-se avaliar se as ações positivas apresentaram bons resultados (Dionisio, 2018).

Coelho (2016, p. 38) afirma que “Quando se pretende averiguar a existência de correlação entre duas variáveis é comum fazer-se uso de uma representação gráfica denominada “diagrama de dispersão”, que são representações de duas ou mais variáveis organizadas em um gráfico, uma em função da outra”.

Figura 6 – Gráfico de Dispersão



Fonte: Chamon, 2008.

Para construir o Diagrama de Dispersão deve-se selecionar a causa e o efeito dos quais se deseja descobrir a relação; depois coletar os dados sob forma de par ordenado (Folha de Verificação); desenhar os dois eixos do gráfico e colocar a variável dependente no eixo vertical e a independente no eixo

horizontal; desenhar um ponto para cada uma das ocorrências dos dados e por fim, verificar a disposição dos pontos para identificar se há correlação (Seleme; Stadler, 2012).

- **GRÁFICOS DE CONTROLE**

O Gráfico de Controle é uma ferramenta estatística que monitora o desempenho de um processo ao longo do tempo, permitindo identificar variações e tendências que possam indicar a necessidade de ajustes ou melhorias.

São usados para verificar se o processo está sob controle, dentro dos limites estabelecidos. Tem como objetivo monitorar uma determinada atividade ou processo contínuo a fim de descobrir algum desvio ou variação desta atividade ou processo. Com eles pode-se avaliar, acompanhar e manter a estabilidade do processo, além de prevenir defeitos, evitar desperdícios, eliminar o que compromete a eficiência e reduzir custos (Lyonnet 1991).

Coelho (2016) diz que uma carta de controle é composta por: a) Um gráfico cartesiano, onde o eixo horizontal representa o tempo e o vertical representa o valor da característica; b) Um conjunto de valores (pontos) unidos por segmentos de reta; c) Três linhas horizontais (limite inferior de controle, limite controle e linha média); e, d) Também é composto por três fases: Coleta de dados, Controle e Análise e melhoria.

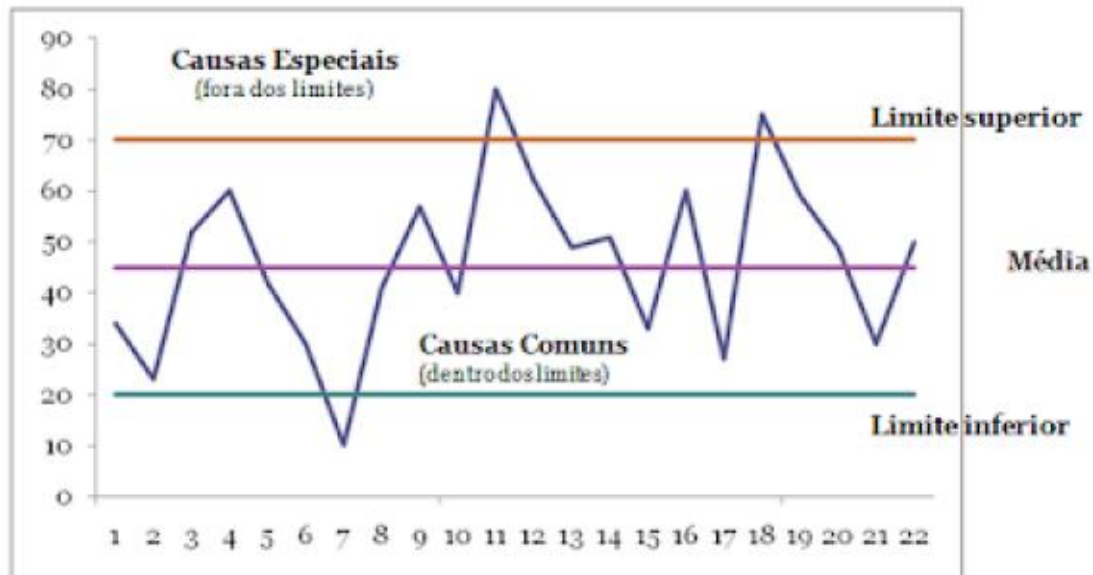
Os gráficos de controle são compostos por uma linha central que representa a média do processo e limites de controle superior e inferior que indicam os limites aceitáveis de variação do processo. Os dados do processo são coletados e plotados no gráfico ao longo do tempo, permitindo que os gestores e equipe monitorem a estabilidade do processo e tomem ações corretivas, se necessário.

Os passos para a construção e interpretação de um gráfico de controle segundo Coelho (2016) são os seguintes:

1. Coleta de dados: Coletar dados do processo em intervalos regulares e estabelecer uma amostra representativa para análise.
2. Cálculo dos limites de controle: Calcular os limites superior e inferior de controle com base nos dados coletados, geralmente utilizando fórmulas estatísticas como média, desvio padrão e número de desvios padrão.
3. Construção do gráfico: Plotar os dados coletados no gráfico de controle, com a linha central representando a média do processo e os limites de controle superior e inferior indicando a variação aceitável do processo.
4. Análise dos dados: Monitorar o comportamento dos dados ao longo do tempo e identificar padrões, tendências ou pontos fora dos limites de controle. Essas ocorrências podem indicar variações anormais que precisam ser investigadas e corrigidas.
5. Tomada de ação: Caso ocorram variações anormais no processo, é importante investigar as causas raiz e implementar ações corretivas para restaurar a estabilidade do processo e evitar a recorrência de problemas.

Os gráficos de controle são uma ferramenta valiosa para a gestão da qualidade, pois permitem que as organizações monitorem a variabilidade dos processos, identifiquem desvios de padrões e tomem ações preventivas e corretivas de forma proativa.

Figura 7 – Exemplo de Gráfico de Controle



Fonte: Diniz, 2019.

• 5 PORQUÊS

A técnica dos 5 Porquês consiste em identificar a causa raiz de um problema por meio de uma sequência de perguntas "por quê?", buscando a origem do problema e não apenas suas manifestações superficiais.

De acordo com Rigoni (2010) esta ferramenta consiste em perguntar cinco vezes a razão da ocorrência de um problema ou inconformidade, conforme mostra a Tabela 4.

Segundo Slack et al. (1996), não se deve ficar rapidamente satisfeito com as causas levantadas, deve-se ir até a raiz do problema, para em seguida, resolver as causas fundamentais do problema.

Os "5 Porquês" consistem em fazer repetidamente a pergunta "Por quê?" para identificar a causa fundamental de um problema. A ideia por trás dessa abordagem é que, ao questionar sucessivamente as causas imediatas de um problema, é possível chegar à causa raiz subjacente que precisa ser abordada para evitar a recorrência da falha.

Os passos para aplicar a técnica dos "5 Porquês" são os seguintes:

1. Identificação do problema: Defina claramente o problema ou a falha que deseja resolver e anote-o de forma objetiva e específica.

2. Formulação da pergunta "Por quê?": Pergunte por que o problema ocorreu e identifique a causa imediata. Em seguida, questione novamente o motivo dessa causa, repetindo a pergunta "Por quê?".

3. Continuação do questionamento: Continue fazendo a pergunta "Por quê?" sucessivamente, buscando identificar as causas subjacentes que levaram ao problema inicial. Recomenda-se fazer isso pelo menos cinco vezes, mas em alguns casos pode ser necessário mais ou menos.

4. Identificação da causa raiz: Após identificar as causas potenciais do problema, analise as respostas obtidas e identifique a causa raiz subjacente que precisa ser abordada para evitar a recorrência do problema.

5. Implementação de ações corretivas: Com base na identificação da causa raiz, elabore e implemente ações corretivas eficazes para resolver o problema e evitar sua repetição. Certifique-se de monitorar os resultados das ações implementadas.

A técnica dos "5 Porquês" é uma ferramenta simples e eficaz para a resolução de problemas, pois ajuda a identificar as causas fundamentais das falhas, em vez de apenas tratar os sintomas.

Esta técnica foi utilizada no trabalho para descobrir a causa raiz do problema em cada equipamento, para posterior elaboração de um plano de ação para resolver ou mitigar a falha.

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada nesse estudo de caso foi na aplicação de ferramentas e gestão de qualidade de forma a conduzir na busca de redução de custos de fabricação numa indústria cimenteira. O estudo aplicado se deu na forma de organizar diversas ferramentas da qualidade, cada uma em sua

respectiva afinidade de solução e de forma ordenada e sequenciada com o objetivo específico definido buscar resultados reais para a finalização.

Foram coletados diversos dados tanto em relatórios gerenciais como em visita em campo para entendimento completo do processo, montando assim um acervo de informações e aplicando metodologia de Estratificação base dados de Pareto direcionando para problemas específicos, estes serão analisados os de maiores impactos nos resultados tais que serão analisados individualmente e com aplicação de *braisntorming* e espinha de peixe alencar possibilidades que levam à falha.

Cada falha terá análise de 5 porquês tratados até chegar na causa raiz. Por fim com entendimento da causa raiz aplicando o plano de ação trataremos estas causas de forma a mitigar e/ou eliminar o modo de falha para redução das perdas e obtenção de resultados.

O procedimento que foi utilizado na empresa Votorantim Cimentos é um estudo de caso, pois foi realizado um estudo dentro da empresa citada aplicando a metodologia de uso das ferramentas de qualidade para obtenção de melhor rendimento da máquina reduzindo o consumo específico de energia.

4.1 Abordagem Metodológica

Lakatos e Marconi (2009, p. 223) respalda que “o método se caracteriza por uma abordagem mais ampla, em nível de abstração mais elevado, dos fenômenos da natureza e da sociedade. É, portanto, denominado método de abordagem, que engloba o indutivo, o dedutivo, o hipotético e o dialético”.

4.2 Caracterização da Pesquisa

Segundo Silva (2014, p. 17) a direção que o pesquisador adota para a realização de seu estudo indica a classificação da pesquisa, assim possibilitando que outras pessoas possam ter os resultados comprovados.

A consideração de características específicas de cada área do conhecimento é uma visão de Gil, Cervo e Bervian (1999 apud Silva, 2014. p.

17), desta forma uma pesquisa científica tem diferentes formas de ser classificada.

4.2.1 Quanto aos objetivos ou fins

Afirmador por Ubirajara (2013, p. 25) a pesquisa de caso pode ser caracterizada como exploratória, descritiva e explicativa. Segundo Gil (2010, p. 27-28) sendo a primeira tem como propósito proporcionar com p tema familiaridade, a segunda visa identificar possíveis relações entre variáveis, tendo como objetivo descrever (analisar) as características de uma população e por fim, a terceira tem como objetivo identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos, sua finalidade é explicar a razão, o porquê das coisas. Este trabalho possui característica descritiva e explicativa porque além de identificar relações entre acontecimentos também busca fatores que contribuem para a ocorrência de fenômenos.

4.2.2 Quanto ao objeto ou meios

Quanto aos meios, uma pesquisa pode ser experimental, bibliográfica, documental ou de campo. Ubirajara (2013, p. 46), afirma que a experimental é a que representa o melhor exemplo de pesquisa científica. Na ótica de Gil (2010, p. 31 *apud* Ribeiro, 2013, p. 28), a pesquisa experimental “nada mais é do que a comparação entre um fator estudado e sua relação com os demais analisando suas influências.”

Sendo assim podemos afirmar que este estudo é de campo pelo fato de ser realizado na empresa e experimental a partir do momento que se aplica as ferramentas da qualidade. Bibliográfico, porque apresenta conceitos já publicados em outras obras, documental por utilizar dados registrados em tabelas virtuais da empresa.

4.2.3 Quanto ao tratamento dos dados

Base a quantidade de elementos a ser analisado, pode se recorrer a unificação dos dados ou informações, com números, essa visão é fortalecida na percepção de Ubirajara (2017, p.118) e este autor reforça que o tratamento dos dados pode ser qualitativo, quantitativo ou ambas.

Destaca-se que Minayo (1994) utiliza o termo "análise de conteúdo" para representar tratamento de dados de uma pesquisa qualitativa.

Bardin (2016), definiu o desenvolvimento da AC em três etapas: 1) pré-análise, 2) exploração do material e, 3) tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

Quanto à abordagem dos dados, Ubirajara (2013, p. 47) afirma que a pesquisa pode ser qualitativa, caso o estudo objetive uma análise de compreensão e interpretação do problema ou fenômeno, quantitativa se estiverem presentes somente dados mensuráveis ou perfis estatísticos ou qualiquantitativos caso possua as duas características anteriores.

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa qualiquantitativa, pois avalia e interpreta um determinado problema além de apresentar dados mensuráveis de determinada variável.

4.3 Instrumentos de Pesquisa

De acordo com Marconi; Lakatos (2003, p. 166), existem várias técnicas para a realização da pesquisa, algumas delas são: coleta documental, observação, entrevista, questionário, entre outras.

Neste estudo de caso teremos mais aplicabilidade em coleta de documentos e dados da empresa além de observação de campo para análise de fenômenos.

4.4 Unidade, Universo e Amostra da Pesquisa

A unidade da pesquisa é o local onde ela foi realizada. O estudo foi desenvolvido na área de uma indústria cimenteira, localizada no interior de Sergipe, mais precisamente na fazenda Brandão S/N no município de Laranjeiras. Nesta unidade cimenteira existe diversos equipamentos na linha de produção e aplicaremos a metodologia no setor de produção de farinha. O universo da pesquisa é uma indústria multinacional de fabricação de cimento. Já a amostra da pesquisa foram 1 moinho de farinha, o qual faremos a análise na moagem de farinha da 3º linha produtiva no Moinho Loesche – de tag R3.

4.5 Definição das Variáveis e Indicadores da Pesquisa

Baseando-se nos objetivos específicos, as variáveis e os indicadores deste trabalho estão listados no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 - Variáveis e indicadores da pesquisa

Variável	Indicadores
Realização de avaliação do cenário de custo de fabricação na fase farinha;	Estudo e coleta de dados Ciclo PDCA
Utilização das ferramentas de qualidade para diminuir o consumo de energia elétrica;	Diagrama de Árvore Diagrama de Ishikawa 5 Porquês Implementação de Plano de Ação
Redução do custo de fabricação de farinha, na indústria cimenteira	Análise de dados

Fonte: Autor

4.6 Plano de Registro e Análise dos Dados

Foram utilizados recursos como: Word, Excel, Power Point,

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

O setor terciário da economia, composto pelas áreas de agricultura, indústria e serviços, é caracterizado pelo alto consumo de energia para o seu funcionamento. Em especial as indústrias normalmente têm de 50% a 60% dos seus custos totais apenas com energia. O consumo da energia elétrica, em plantas cimenteiras modernas, chega a 110-120kWh por tonelada de cimento. São vários os equipamentos acionados por motores elétricos, dentre eles tem-se o moinho vertical de rolos

Diante deste cenário, foram utilizadas algumas ferramentas da qualidade para análise de dados a fim de reduzir o consumo de energia elétrica em uma fábrica de cimento situada na cidade de Laranjeiras no estado de Sergipe.

Inicialmente, foi desenvolvido o ciclo PDCA, onde, na fase de planejamento, foi identificado o problema, bem como foram analisados os fenômenos e processos e após estas análises, desenvolvido um plano de ação para resolução ou mitigação do problema.

Em seguida, este plano de ação foi posto em prática e a partir das ações realizadas, foram verificados os resultados fazendo-se ajustes e correções a fim de obter o resultado desejado. A imagem a seguir ilustra as etapas do ciclo desenvolvido:

Figura 8 – Ciclo PDCA

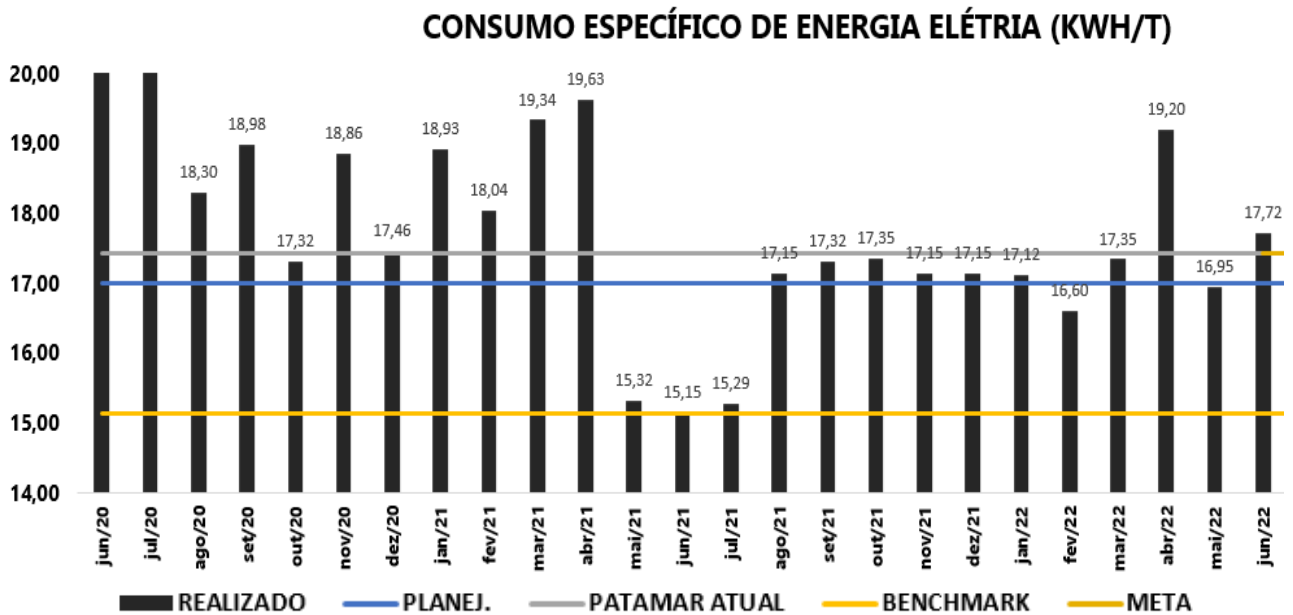


Fonte: Autor, 2024.

5.1 Realizar avaliação do cenário de custo de fabricação de farinha

Foi realizado um estudo e feito a coleta de dados referente ao consumo de energia elétrica na fase de fabricação da farinha entre o período de junho de 2020 à setembro de 2022, segundo mostrado no gráfico a seguir:

Gráfico 1 – Gráfico consumo de energia elétrica



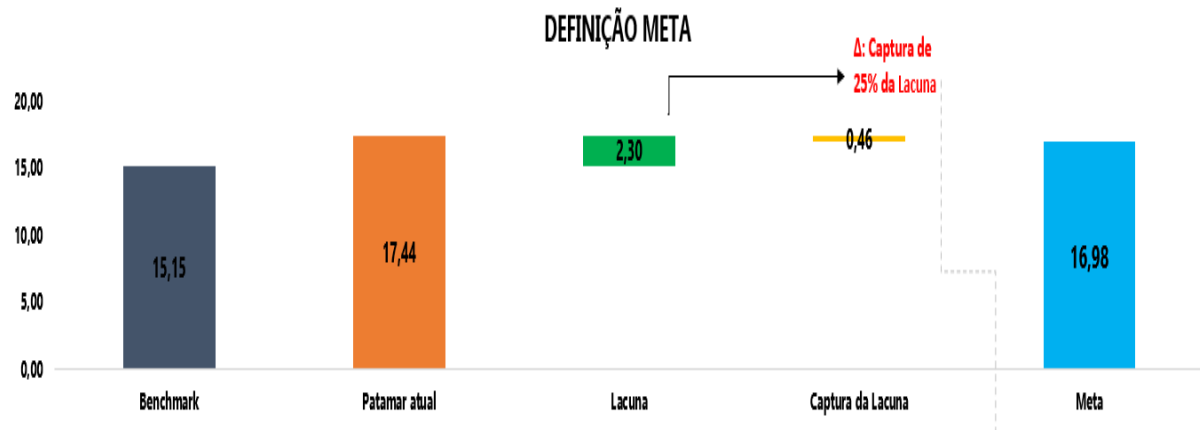
Fonte: Autor, 2024.

Pode-se observar um consumo de energia sempre acima do valor planejado, com destaque para o segundo semestre de 2020 e início de 2021.

5.2 Utilizar as ferramentas de qualidade para diminuir o consumo de energia elétrica

A partir dos dados obtidos no gráfico mostrado anteriormente, foi estabelecida uma nova meta de consumo de energia elétrica descrita na imagem a seguir:

Gráfico 2 – Gráfico de definição de meta de redução do consumo



Fonte: Autor, 2024.

Para o estabelecimento desta nova meta foi utilizado o Benchmark que era a meta anterior (15,15 KWH/t) menos a média do consumo real da época (17,44 kWh/t), gerando assim um valor de 2,30, chamado de lacuna. Desta lacuna, foi utilizado 25% do seu valor (0,46) e subtraído do valor da média real, obtendo-se assim a nova meta de 16,98 kWh/t.

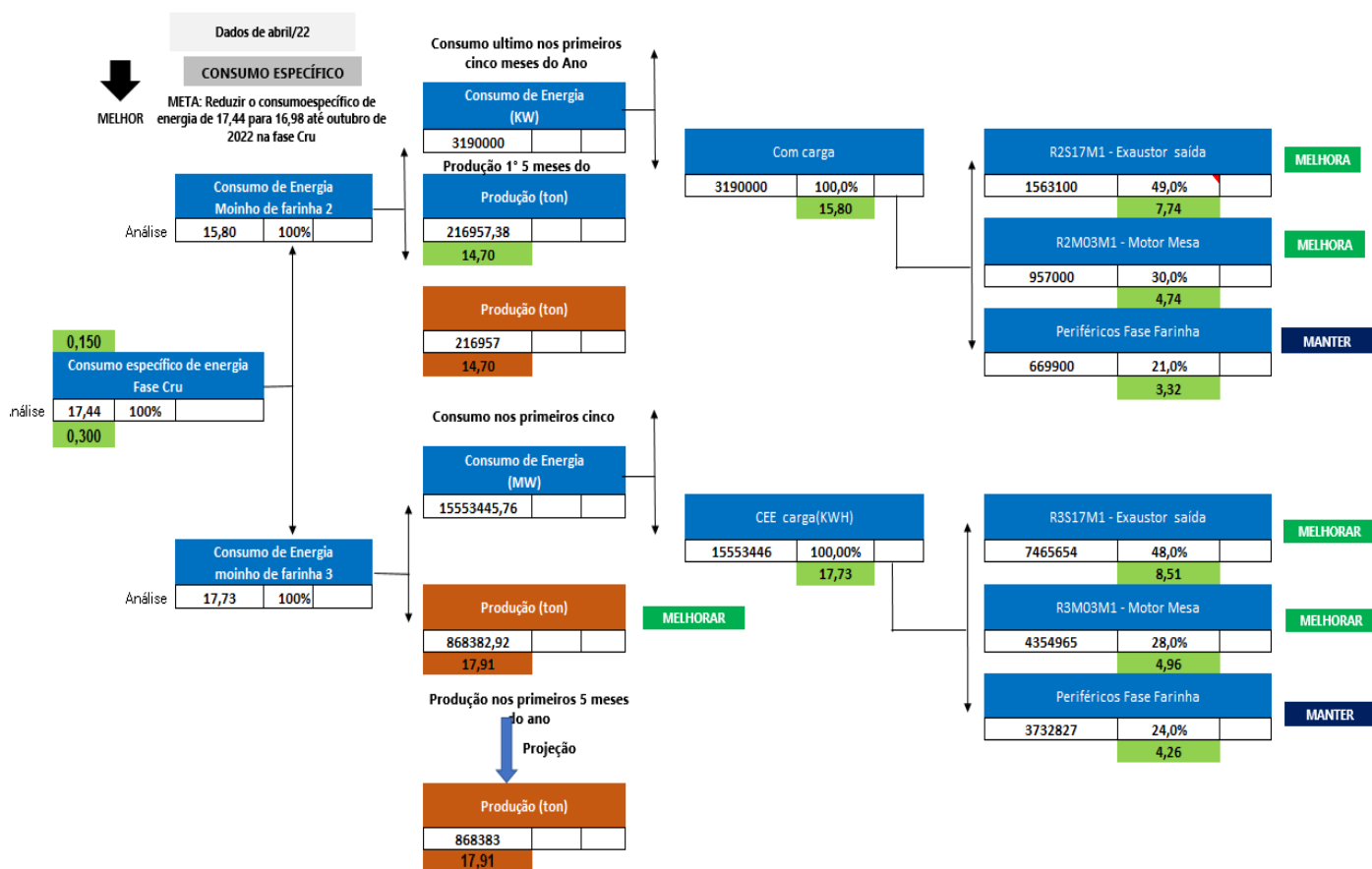
Com a nova meta definida: Redução do consumo específico de energia de 17,44kWh/t para 16,98kWh/t, foi elaborado um diagrama de árvore para uma melhor visualização da estrutura do problema, definindo quais os pontos seriam atacados para contribuir com a redução do consumo de energia elétrica.

Inicialmente, foi feita uma divisão dos equipamentos com maior consumo de energia na moagem de farinha, sendo eles o moinho de farinha 2 e o moinho de farinha 3 e seus respectivos consumos de 15,80kWh/t de farinha e 17,73kWh/t de farinha.

Dois equipamentos principais são responsáveis em compor uma grande parcela deste consumo de energia, são eles, o exaustor de saída e a mesa do moinho. Para o moinho de farinha 2, o exaustor de saída é responsável por um consumo de 49% do valor total o que equivale a 7,74kWh/t, já a mesa do moinho um consumo de 30% do valor total, o equivalente a 4,74kWh/t. Para a moagem de farinha 3, esses valores são de 48% do exaustor de saída, o equivalente a 8,51kWh/t e 28% da mesa do moinho o equivalente a 4,96kWh/t.

Diante da grande contribuição destes equipamentos (exaustor de saída e mesa do moinho) no consumo de energia elétrica na moagem de farinha, será em cima deles que serão trabalhadas ações para redução do consumo de energia específico.

Figura 9 – Diagrama de Árvore consumo específico de energia



Fonte: Autor, 2024

O quadro abaixo mostra os valores de redução do consumo de energia definidos para cada equipamento:

Quadro 2 – Consumo de energia moinho de farinha 2

- Moinho de farinha 2

Equipamento	Consumo atual (KWH/t)	Redução esperada (KWH/t)
Exaustor de saída	7,74	7,59
Mesa do moinho	4,74	4,60

Fonte: Autor, 2024.

Quadro 3 – Consumo de energia moinho de farinha 3

- Moinho de farinha 3

Equipamento	Consumo atual (KWH/t)	Redução esperada (KWH/t)
Exaustor de saída	8,51	8,34
Mesa do moinho	4,96	4,86

Fonte: Autor, 2024.

Definidos os equipamentos os quais serão estudados buscando ações que contribuam para redução do consumo de energia, foi desenvolvido um diagrama de Ishikawa para cada um deles, com o intuito de visualizar e identificar as possíveis causas do problema, neste caso um alto consumo de energia elétrica.

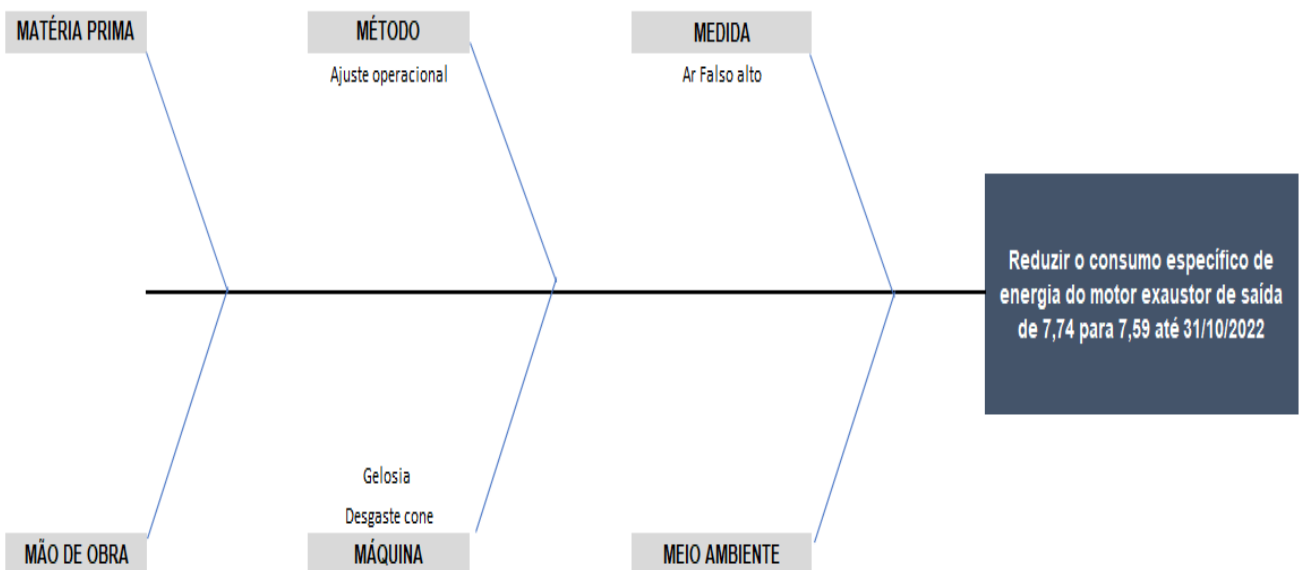
- **Moagem de farinha 2**

- Exaustor de saída

Figura 10 – Diagrama Ishikawa consumo de energia exaustor de saída (R2S17)

META ESPECÍFICA 01

Reduzir o consumo específico de energia do motor exaustor de saída de 7,74 para 7,59 até 31/10/2022



Fonte: Autor, 2024

Identificado as possíveis causas a partir do diagrama, foi aplicado a técnica dos 5 porquês para cada equipamento, com o objetivo de identificar a causa raiz do problema.

Neste diagrama temos como possíveis causas a falha no ajuste operacional, um ajuste fora do padrão pode ocasionar desvios operacionais, podendo gerar danos ao processo e equipamento. Tem-se também a presença de ar falso, pois, pelo fato de ser um ar externo ao processo, acaba fazendo com que o equipamento acelere a uma maior rotação (maior consumo de energia), para compensar a entrada desse ar frio no sistema e manter a temperatura estável. Além de desgastes no cone e gelosia, os quais permitirá entrada de ar falso no sistema, que será prejudicial como citado acima para o processo e consumo de energia.

Tabela 1 – 5 Porquês exaustor de saída (R2S17)

5 Porquês								
AGRUPAMENTO DE CAUSA	CAUSA PRIMÁRIA	2ª CAUSA	3ª CAUSA	4ª CAUSA	5ª CAUSA	6ª CAUSA	7ª CAUSA	CAUSA RAIZ
MÉTODO	Controle vazão	Ação por gelosia	Ausência de Controle por inversor					Ausência controle por inversor
MÁQUINA	Vazão alta moinho	Nível de ar falso alto	Furos chaparias desgastes vedações	Manutenção pendentes no equipamento				Ar Falso acima do limite
MÃO de OBRA	Parâmetros	Ausencia de dados estáveis	Falta de padronização na operação					Falta de padronização na operação

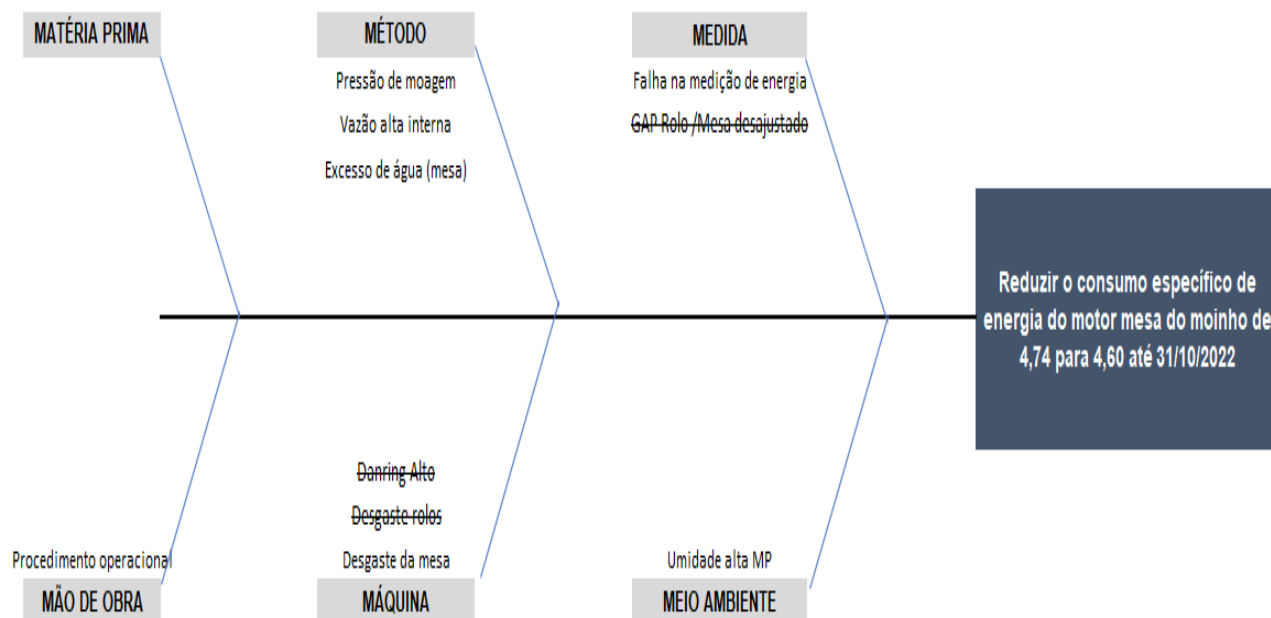
Fonte: Autor, 2024

- Mesa do moinho

Figura 11 – Diagrama Ishikawa mesa do moinho (R2M03)

META ESPECIFICA 01

Reduzir o consumo específico de energia do motor mesa do moinho de 4,74 para 4,60 até 31/10/2022



Fonte: Autor, 2024

Tabela 2 – 5 Porquês exaustor de saída (R2M03)

5 Porquês

AGRUPAMENTO DE CAUSA	CAUSA PRIMÁRIA	2ª CAUSA	3ª CAUSA	4ª CAUSA	5ª CAUSA	6ª CAUSA	7ª CAUSA	CAUSA RAIZ
MÉTODO	Pressão de moagem excessiva	Desconhecimento de parâmetros estáveis de operação	Ausência de treinamento na operação MRV	Descontinuidade no treinamento de novos operadores				Ausência de parâmetros definidos de operação
MÁQUINA	Aumento recirculação material	Baixa velocidade gases	Bocais do airport fora de referência	Dsgastes dos elementos de vedação do Airport	Falha de inspeção /execução / Priorização da recuperação dos Airport (nozeelring)	Não seguiu padrão rereferência para máquina		Desconhecimento de padrão (elementos de máquinas MRV)
MATERIAL	Umidade Alta >10%	Material exposto ambiente	Contaminação do material	Local de armazenamento	Período chuvoso	Plano de chuvas ineficientes		Falha APP chuvas
MEDIDA	Falha na medição energia	Incoerência nos dados	Falha no CCK	Divergência na comunicação entre CCK e PI	Desconhecimento sobre o processo do CCK + PI	Falta de treinamento sobre processo do CCK + PI		Falta de treinamento sobre processo do CCK + PI
MÃO DE OBRA	Procedimentos operacionais	Ausência de dados estáveis	Falta de padronização na operação					Falta de padronização na operação

Fonte: Autor, 2024

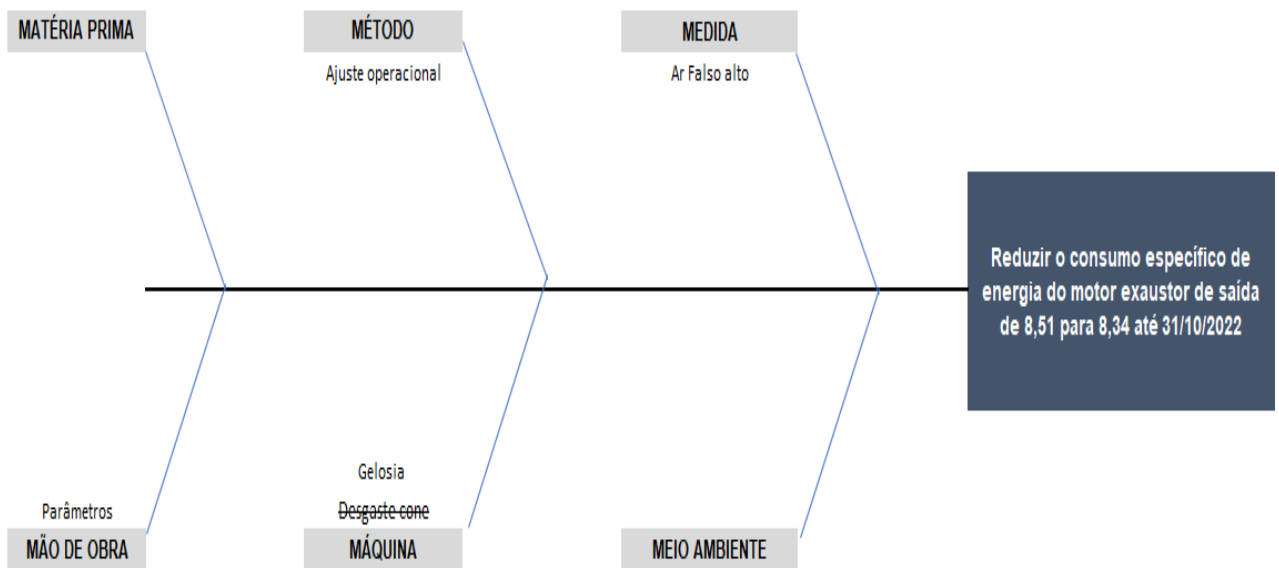
- **Moagem de farinha 3**

- Exaustor de saída

Figura 12 – Diagrama Ishikawa consumo de energia exaustor de saída (R3S17)

META ESPECÍFICA 01

Reduzir o consumo específico de energia do motor exaustor de saída de 8,51 para 8,34 até 31/10/2022



Fonte: Autor, 2024

Neste diagrama temos como possíveis causas a falha no ajuste operacional, ar falso e desgaste na gelosia, os quais já foram descritos com base na figura 10. Além parâmetros de moagem fora do especificado pelo padrão de moagem de farinha estabelecido pela empresa.

Tabela 3 – 5 Porquês exaustor de saída (R3S17)

5 Porquês

AGRUPAMENTO DE CAUSA	CAUSA PRIMÁRIA	2ª CAUSA	3ª CAUSA	4ª CAUSA	5ª CAUSA	6ª CAUSA	7ª CAUSA	CAUSA RAIZ
MÉTODO	Controle vazão	Ação por gelosia	Ausência de Controle por inversor					Ausência controle por inversor
MÁQUINA	Vazão alta moinho	Nível de ar falso alto	Furos chaparias desgastes vedações	Manutenção pendentes no equipamento				Ar Falso acima do limite
MÃO de OBRA	Parâmetros	Ausencia de dados estáveis	Falta de padronização na operação					Falta de padronização na operação

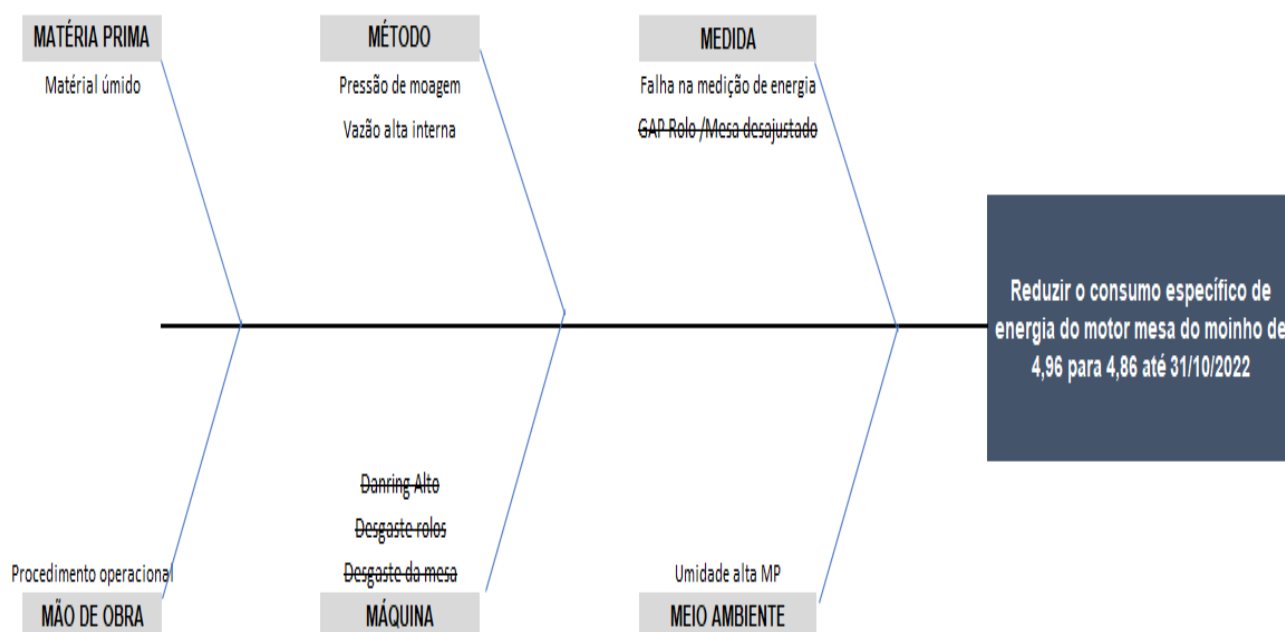
Fonte: Autor, 2024

- Mesa do moinho

Figura 13 – Diagrama Ishikawa consumo de energia exaustor de saída (R3M03)

META ESPECIFICA 01

Reduzir o consumo específico de energia do motor mesa do moinho de 4,96 para 4,86 até 31/10/2022



Fonte: Autor, 2024.

Tabela 4 – 5 Porquês exaustor de saída (R3M03)

5 Porquês

AGRUPAMENTO DE CAUSA	CAUSA PRIMÁRIA	2ª CAUSA	3ª CAUSA	4ª CAUSA	5ª CAUSA	6ª CAUSA	7ª CAUSA	CAUSA RAIZ
MÉTODO	Pressão de moagem excessiva	Desconhecimento de parâmetros estáveis de	Ausência de treinamento na operação MRV	Descontinuidade no treinamento de novos operadores				Ausencia de parâmetros definido
MÁQUINA	Aumento recirculação material	Baixa velocidade gases	Bocais do airport fora de referência	Dsgastes dos elementos de vedação do Airport	Falha de inspeção /execução / Priorização da recuperação dos Airport (nozeelring)	Não seguiu padrão rereferência para máquina		Descohecimento de padrão (elementos de máquinas MRV)
MATERIAL	Umidade Alta >10%	Material exposto ambiente	Contaminação do material	Local de armazenamento exposto	Período chuvoso	Plano de chuvas ineficientes		Falha APP chuvas
MEDIDA	Falha na medição energia	Incoerência nos dados	Falha no CCK	Divergência na comunicação entre CCK e PI	Desconheciment o sobre o processo do CCK + PI	Falta de treinamento sobre processo do CCK + PI		Falta de treinamento sobre processo do CCK + PI
MEDIDA	Falha na medição energia	Incoerência nos dados	Falha no CCK	Falta de inspeção do CCK				Falta de inspeção do CCK
MÃO DE OBRA	Procedimentos operacionais	Ausencia de dados estáveis	Falta de padronização na operação					Falta de padronização na operação

Fonte: Autor, 2024

Identificado as causas raízes para cada problema, foi desenvolvido um plano de ação para correção das anomalias.

PLANO DE AÇÃO

- **Causa Raiz**

- Ausência de controle por inversor

- **Ação**

- Instalados inversores de frequência nos equipamentos, o qual tem a função de controlar a velocidade de motores elétricos promovendo a variação da frequência e da tensão que é fornecida ao motor, desta forma, contribuindo para redução no consumo de energia

Tabela 5 – Dados da ação

Responsável	Prazo até conclusão	Status
Wilton Paiva	17/07/2022	Concluído

Fonte: Autor, 2024

- **Causa Raiz**

- Ar falso acima do limite

- **Ação**

- O ar falso trata-se de um ar frio do meio externo, que acaba sendo succionado pelo exaustor devido a presença de furos na carcaça do mesmo, fazendo com que o exaustor tenha que trabalhar com uma rotação maior ou maior gelosia para manter a vazão do sistema ocasionando assim um aumento no consumo de energia. A eliminação destes furos, com reparos na chaparia da carcaça, acaba

eliminando essa entrada de ar falso, mantendo o exaustor trabalhando em uma rotação menor ou menos gelosia

.

Tabela 6 – Dados da ação

Responsável	Prazo até conclusão	Status
Marivaldo	17/07/2022	Concluído

Fonte: Autor, 2024

- **Causa Raiz**

- Falta de padronização na operação

- **Ação**

- A padronização de processos serve para tornar a rotina da empresa mais uniforme e efetiva, uma estrutura padronizada permite o aumento da eficiência operacional, reduzindo custos. Sendo assim, foram criados padrões para operação, garantindo assim a eficiência operacional.

Tabela 7 – Dados da ação

Responsável	Prazo até conclusão	Status
Juarez Bigi	01/08/2022	Concluído

Fonte: Autor, 2024

- **Causa Raiz**

- Ausência de parâmetros definidos

- **Ação**

- Toda operação da planta deve seguir padrões estabelecidos pela empresa, ou seja, todos os operadores devem operar segundo parâmetros definidos, garantido assim uma maior eficiência no processo. Logo, foi realizado treinamento com todos os operadores, elencando os principais parâmetros no processo de obtenção da farinha.

Tabela 8 – Dados da ação

Responsável	Prazo até conclusão	Status
Juarez Bigi	01/08/2022	Concluído

Fonte: Autor, 2024

- **Causa Raiz**

- Desconhecimento de padrão

- **Ação**

- Como já mencionado anteriormente, a padronização é capaz de tornar o processo mais eficiente, sendo assim, foi realizado uma série de treinamentos de padrões com a equipe.

Tabela 9 – Dados da ação

Responsável	Prazo até conclusão	Status
Juarez Bigi	01/08/2022	Concluído

Fonte: Autor, 2024

- **Causa Raiz**

- Falha APP de chuvas

- **Ação**

- Grande parte da matéria prima utilizada na produção da farinha fica armazenada a céu aberto, o que acaba prejudicando o processo produtivo com obstruções em *shuts* e calhas de descarga e consequente geração de várias paradas no processo. Após as paradas, com a retomada de todos estes equipamentos acaba-se gerando um consumo maior de energia. Sendo assim, foi revisado o plano de chuva, buscando alocar todos esses insumos em galpões cobertos contra a chuva.

Tabela 10 – Dados da ação

Responsável	Prazo até conclusão	Status
Carlos Alberto	25/08/2022	Concluído

Fonte: Autor, 2024

- **Causa Raiz**

- Falta de treinamento sobre processo de CCK + PI

- **Ação**

- O CCK é um sistema de monitoramento de potência instalada nas linhas de alimentação de departamentos e máquinas. Esses sistemas são um monitoramento contínuo de medição de cargas instaladas que transmite a informação online, podendo assim, analisar como estamos com a distribuição e monitoramento de uma alteração de consumos caso venha acontecer. Já o PI é um programa onde podem ser observados na forma de gráficos, todos os parâmetros de operação da planta fabril como pressões, velocidades, corrente, rotação dos equipamentos, sendo que uma boa interpretação destes, podem prever ou identificar problemas, podendo-se assim, tomar uma ação antes que o dano ocorra ou se torne pior.

Sendo assim, foi realizado treinamento com os operadores sobre processo CCK e PI.

Tabela 11 – Dados da ação

Responsável	Prazo até conclusão	Status
Wilton Paiva	15/07/2022	Concluído

Fonte: Autor, 2024

- **Causa Raiz**

- Falta de inspeção do CCK

- **Ação**

- Foi passado a realizar inspeções contínuas do CCK

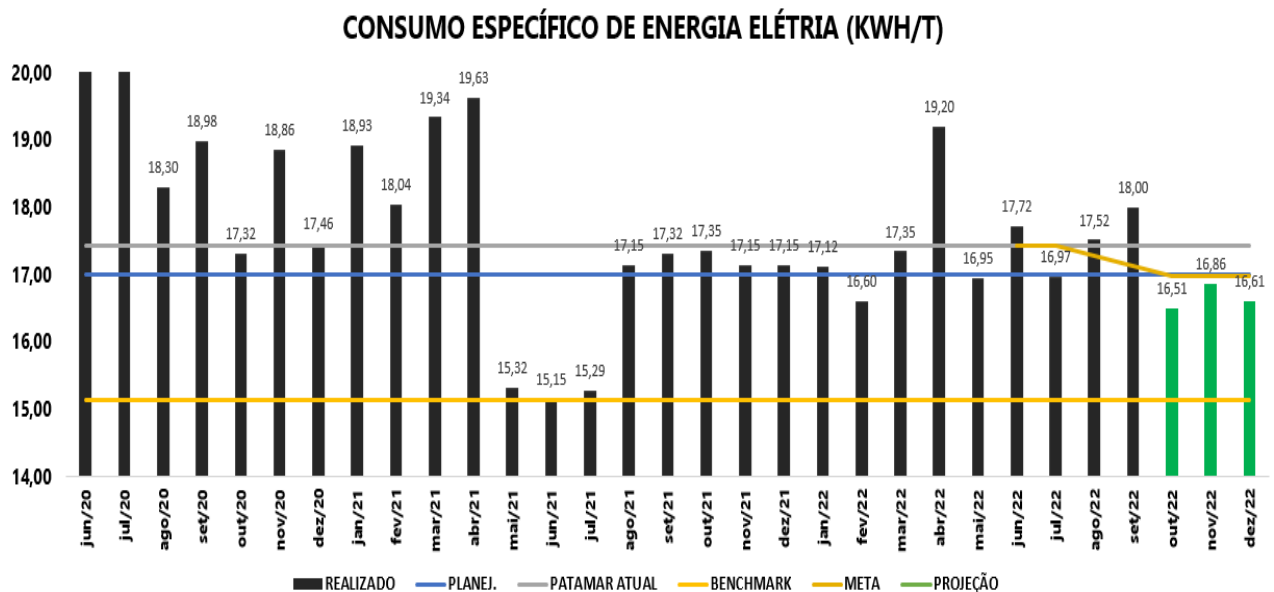
Tabela 12 – Dados da ação

Responsável	Prazo até conclusão	Status
Wilton Paiva	01/08/2022	Concluído

Fonte: Autor, 2024

Com a utilização das ferramentas da qualidade e posterior acompanhamento, foi possível observar a diminuição do consumo de energia específico na moagem de farinha como mostra a imagem a seguir:

Gráfico 3 – Consumo específico de energia elétrica após uso das ferramentas



Fonte: Autor, 2024

5.3 Reduzir custo de fabricação de farinha, na indústria cimenteira

Com a redução do consumo específico de energia elétrica, consequentemente houve uma redução no custo de fabricação da farinha já que ele é expresso em KWH/t de farinha, ou seja, se a cada tonelada de farinha

produzida eu utilizo uma menor quantidade de energia, menor será o custo o produto.

5 SUGESTÕES

A implementação das ferramentas de gestão é de suma importância para resultados consistentes, desta forma como sugestão é que seja investido em treinamentos específicos de cada ferramenta da qualidade e após essa fase, pequenos projetos sejam planejados de forma que os envolvidos na capacitação possam colocar em prática com a metodologia padronizada.

Os ganhos obtidos em cada projeto específico deverão ser expostos em reuniões para que toda empresa tenha conhecimento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a aplicação das ferramentas cada uma em seu contexto específico, foi possível atingir do resultado esperado reduzindo significativamente o custo de fabricação. Esse valor economizado pode ser utilizado em manutenção preventivas a fim de evitar levar a recorrências assim como em melhorias como capacitações e desenvolvimento.

Foi possível representar que ferramentas individualizadas nos traz resultados específicos e o conjunto destas ferramentas gerando resultados global e consistentes.

No presente trabalho, foi realizado um estudo detalhado sobre a redução de consumo específico de energia em uma indústria, analisando as principais estratégias e aplicação das ferramentas da qualidade para mapear as oportunidades identificação das causas raízes implementação de plano de ação e execução destas ações para otimizar o consumo de energia e, consequentemente, reduzir os custos operacionais.

Durante a realização da pesquisa, foi possível identificar que a implementação de ferramentas de qualidade adequadas, a adoção de práticas

de gestão de energia e a conscientização dos colaboradores, podem trazer benefícios significativos para a empresa.

Além disso, a análise dos resultados obtidos demonstrou que a redução do consumo específico de energia pode contribuir para a melhoria da competitividade da indústria, tornando-a mais sustentável e alinhada com as demandas atuais da sociedade por práticas empresariais mais responsáveis.

Após implantação e sustentação do resultado vale destacar a importância da padronização para evitar regresso ao ponto inicial, envolvendo na conquista do resultado esperado

Para concluir, a redução de energia em uma indústria é um tema de extrema relevância atualmente, não apenas do ponto de vista econômico, mas também ambiental e social. A utilização de ferramentas da qualidade, como o PDCA, o 5W2H e Espinha de peixe, se mostrou fundamental para identificar os gargalos de consumo, propor melhorias e monitorar os resultados obtidos ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, S. **Integração das Ferramentas de Qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigmas**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2006.
- ALMEIDA, A.R.C. **Gestão operacional da qualidade: uma abordagem prática e abrangente no setor florestal**. Campinas: Editora da Unicamp, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9001:2000: **Sistemas de gestão da qualidade: requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 19011: **Diretrizes para auditorias de sistema de gestão da qualidade e/ou ambiental**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- BALLESTERO-ALVAREZ, M. E. **Gestão de qualidade, produção e operações**. São Paulo: Atlas, 2010.
- BANAS, Fernando. **Ferramentas Gerenciais para a Qualidade**. São Paulo: Edila, 2012.
- BATAGGIN, A. F. ABCP, 2008. Disponível em <<https://abcp.org.br/cimento/historia/>>. Acesso em: 04 mar. 2024.
- BEZERRA, I.M.D.; TINOCO, D.J.B. **Aplicação das Ferramentas da Qualidade em Projetos Governamentais – Um Estudo de Caso do Projeto de Integração das Bacias do Rio São Francisco**. ENEGEP – ABEPRO. Santos, 2019.
- BROCKA, B; BROCKA, M.S. **Gerenciamento da qualidade**. São Paulo: Makron Books, 1994.
- CAMPOS, V.F. **Controle da qualidade total: no estilo japonês**. Rio de Janeiro: Bloch, 1992.
- CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina de trabalho do dia a dia**. Belo Horizonte: Editora Fundação Christiano Ottani, 1996.
- CHAMON, Edna Maria Querido de Oliveira. **Gestão Integrada de Organizações**. São Paulo: Brasport Livros e Multimídias LTDA, 2008, p.65.

CIMENTO VERDE DO BRASIL. **Cimento Verde do Brasil, 2006. História do Cimento.** Disponível em <<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/lingua-portuguesa/citacao-de-site>>. Acesso em: 13 mar. 2024.

COELHO, F. P. S. de; SILVA, A. M. da; MANIÇOBA, R. F. **Aplicação das ferramentas da qualidade: estudo de caso em pequena empresa de pintura.** Refas. V. 3, n.1, out. de 2016.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações.** 3.ed. São Paulo: Atlas, 2012.

DAHLGAARD, Jens J.; KRISTENSEN, Kai; KANJI, Gopal K. **Fundamentals of Total Quality Management.** Londres: Taylor & Francis e-Library, 2007.

DELLARETTI FILHO, O. **As sete ferramentas do planejamento da qualidade.** Belo Horizonte: Fundação Christino Ottoni, 1996.

DINIZ, Bruna. **Ferramentas para aumentar a qualidade dos processos produtivos.** [S. l.], 21 fev. 2019. Disponível em: <https://www.pucconsultoriajr.com.br/blog/ferramentas-de-qualidade/>. Acesso em: 27 abr. 2019.

DIONISIO, Cynthia Snyder. **A Project Manager's Book of Tools and Techniques.** New Jersey: John Wiley & Sons, 2018.

FROTA, C. D. **Gestão da Qualidade Aplicada às Empresas Prestadoras do Serviço de Transporte Hidroviário de Passageiros na Amazônia Ocidental: Uma Proposta Prática.** Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2008.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GODOY, A. L. **Ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act / Planejar-Fazer-Verificar-Agir).** CEDET, 2010.

GRAEML, Alexandre Reis; PEINADO, Jurandir. **Administração da Produção (Operações Industriais e de Serviços).** Curitiba: UnicenP, 2007.

<https://engetop.org/uso-da-energia-em-industrias-cimenteiras/> Acesso em: 22 abr. 2024.

LAKATOS, E. M; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica.** São Paulo: Atlas, 2009. 158,165,167,214 e 223p.

- LIMA, André Barbosa de. **O processo produtivo do cimento Portland**. 2011. 38 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Recursos Minerais, Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- LOURENÇO, A. S. L. M. **Acreditação de laboratórios: ferramentas da qualidade**. Coimbra, 2011.
- LYONNET, P. **Tools of Total Quality: An Introduction to Statistical Process Control**. Bridport: Springer Science+Business Media, 1991.
- MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003
- MONTGOMERY, D.C. **Introduction to statistical quality control**. New York: John Wiley, 1985.
- PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade: Teoria e Prática**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- PALADINI, E. P.; CARVALHO, M. M. **Gestão da Qualidade: Teoria e Casos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, ABEPRO, 2012.
- PAULA, Luiz Gonzaga de. **Análise Termoeconômica do Processo de Produção de Cimento Portland com Co-processamento de Misturas de Resíduos**. 2009. 179 f. Dissertação (Mestrado) -Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009.
- RAMOS, Márcio Dimas. **Estudo da Formação e Emissão de Poluentes na Atmosfera Originários do Coprocessamento de Resíduos em Fábricas de Cimento**. 2015. 125 f. Tese (Doutorado) -Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.
- RIGONI. **Análise de causas- 5 porquês, por que não 6?** 2010, disponível em <<http://www.totalqualidade.com.br/2010/01/analise-de-causas-cinco-porques-por-que.html>> Acesso em: 22 abr. 2024.
- SARRIÉS, G A. **Controle estatístico da qualidade para impurezas minerais em carregamentos de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 1997. 88p. Tese

(Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

SELEME, R. B. **Diretrizes e práticas da gestão financeira e orientações tributárias**. IBPEX, 2010.

SELEME, Robson; STADLER, Humberto. **Controle da Qualidade: As Ferramentas Essenciais**. Curitiba: Ibpx, 2012.

SILVA, Antônio. **Metodologia de Pesquisa: Conceitos Gerais**. Paraná: UNICENTRO, 2014. p. 17, 20, 21 e 30.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **SNIC 50 anos: História do cimento no Brasil**. Rio de Janeiro: SNIC, 2003.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3.ed. São Paulo. Editora Atlas, 2008.

TRINDADE, C; REZENDE, J.L.P; JACOVINE, L.A.G; SARTORIO, M.L. **Ferramentas da qualidade: aplicação na atividade florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000.

UBIRAJARA, Eduardo. **Tirando dúvidas sobre trabalhos acadêmicos: do relatório de estágio supervisionado à monografia**. Aracaju: 2013.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços**. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

WERKEMA, M. C. **Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos**. 1.ed. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Otoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

WILKINSON, Leland. Revising the Pareto Chart. **The American Statistician**, [S. l.], 2006.

ZSCHORNACK, T.; MATTIODA, R. A.; CARDOSO, R. R. **Aplicação da ferramenta MASP para direcionamento de ações de combate a inadimplência na companhia águas de Joinville**. Bauru: XVII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2010.