UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ABAETETUBA
FACULDADE DE ENGENHARIA INDUSTRIAL
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ÁDYLA CRISTINA OLIVEIRA DOS SANTOS

METODOLOGIA PDCA APLICADA NA REDUÇÃO DO CONSUMO DE SULFATO DE ALUMÍNIO EM UMA PLANTA DE BENEFICIAMENTO DE CAULIM NO ESTADO DO PARÁ

ABAETETUBA - PA
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ABAETETUBA
FACULDADE DE ENGENHARIA INDUSTRIAL
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ÁDYLA CRISTINA OLIVEIRA DOS SANTOS

METODOLOGIA PDCA APLICADA NA REDUÇÃO DO CONSUMO DE SULFATO DE ALUMÍNIO EM UMA PLANTA DE BENEFICIAMENTO DE CAULIM NO ESTADO DO PARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Industrial da Universidade Federal do Pará, Campus Abaetetuba, como requisito final para obtenção do grau de Bacharela em Engenharia de Produção.
Orientador: Prof. Me. Fabio de Andrade Pontes

ABAETETUBA – PA
2021

ÁDYLA CRISTINA OLIVEIRA DOS SANTOS

METODOLOGIA PDCA APLICADA NA REDUÇÃO DO CONSUMO DE SULFATO DE ALUMÍNIO EM UMA PLANTA DE BENEFICIAMENTO DE CAULIM NO ESTADO DO PARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Industrial da Universidade Federal do Pará, Campus Abaetetuba, como requisito final para obtenção do grau de Bacharela em Engenharia de Produção.
Orientador: Prof. Me. Fabio de Andrade Pontes

Abaetetuba – PA, 16 de Junho de 2021.
Conceito: Excelente.

Prof. Me. Fabio de Andrade Pontes
FEI/UFPA
Orientador

Prof. Dr. Harlenn dos Santos Lopes
FEI / UFPA
Examinador

Me. Darllan do Rosário Pinheiro
PRODERNA / UFPA
Examinador

À minha mãe, Ana Cristina.

AGRADECIMENTOS

A Deus e N. Sra. que, através das orações recebidas, me protegeram e iluminaram nesses quase seis anos de jornada.

À minha mãe e irmã, companheiras de toda a vida, que me motivam a continuar não importando as dificuldades.

Ao meu padrasto José Maria, que acompanhou de perto a correria, o cansaço, me fez companhia e cuidou de mim.

Às tias Deth e Mãezinha, pelos suportes financeiro e emocional, sem os quais certamente eu não teria chegado até aqui.

Ao meu pai, pelo apoio e incentivo. Vivemos muitas coisas até aqui e que bom que pudemos recomeçar.

Às amigas e amigos que acompanharam essa novela, em especial Kelly, Sérgio, Thais e Helison, com quem eu dividi alegrias, tristezas e muito conhecimento. Obrigada por serem ombros e ouvidos.

Ao Prof. Fabio que, além de Orientador, é um grande amigo e conselheiro e aceitou o convite para desenvolver esse trabalho.

À Profª Ana Áurea, que contribuiu de muitas formas para que eu chegasse até aqui. Além de, gentilmente, ceder a orientação do trabalho para o Prof. Fabio.

Aos membros da banca, Profs. Harlenn e Darllan, que aceitaram avaliar o trabalho e cujas considerações enriqueceram seu resultado.

Ao “seu” Roberto Macedo, meu querido e melhor tutor de estágio, cujos ensinamentos eu vou levar para o resto da vida.

À equipe de Engenharia de Processos, pela contribuição ao meu desenvolvimento profissional. Não poderia pedir melhores professores.

Aos operadores que, todos os dias, me ouviam e ensinavam pacientemente sobre os processos da empresa e sempre foram muito solícitos comigo.

À Ângela, Adryene, Paulo e à melhor equipe de estagiários do mundo: obrigada pelos dois anos de parceria e pela amizade que nasceu dela.

A todas as pessoas que me acompanharam nesse processo.

"Pareceu-me um sinal, um auspício. [...] Talvez, na imperscrutável trama dos eventos que os deuses nos concedem, tudo isso tenha seu significado."

Antonio Tabucchi

RESUMO

O processo de alvejamento, em uma empresa de beneficiamento de caulim, no Estado do Pará, sofreu modificações ao longo dos últimos dez anos, sendo dividido em três fases principais, incluindo e excluindo a dosagem de ácido sulfúrico do sistema. O presente trabalho mostra o projeto desenvolvido nesta empresa, utilizando a metodologia PDCA, no período de setembro de 2020 a abril de 2021, com o objetivo de reduzir o consumo específico de sulfato de alumínio, em 2%, na etapa de alvejamento químico, identificando as causas da ineficiência e propondo soluções voltadas para revisões procedimentais, treinamentos e priorização das ocorrências mais significativas. Os dados coletados foram referentes ao período de aplicação do projeto e as atividades foram desenvolvidas junto às equipes de produção e manutenção. O objetivo do projeto foi alcançado, reduzindo o consumo específico de 2,53 kg/t para 2,48 kg/t, acima da meta definida pelo Planejamento e Controle de Produção, de 2,0 kg/t.

Palavras-chave: Sulfato de alumínio, PDCA, alvejamento químico, caulim.

ABSTRACT

The bleaching process in a kaolin beneficiation plant, in the State of Para, has been modified in the last ten years, being divided in three main phases, including and excluding sulfuric acid dosage in the system. This paper shows the Project developed in the company, using PDCA methodology, from september 2020 to april 2021, aiming to reduce aluminum sulfate specific consumption, by 2%, in the bleaching stage, identifying ineficiency causes and proposing solutions related to procedural reviews, training and priorization of failures. Data collected refers to the whole period of the Project and the activities were taken along with production and maintenance teams. The project goal was reached, reducing specific consumption from 2,53 kt/t to 2,48 kg/t, but yet above Production Planning and Control target, of 2,0 kg/t.

Keywords: aluminum sulphate, PDCA, chemical bleaching, kaolin.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Fluxograma de beneficiamento de minério....16
FIGURA 2 – Ciclo de Shewart....20
FIGURA 3 – Ciclo de Deming para seminário na JUSE....20
FIGURA 4 – Modelo do ciclo PDCA - JUSE....20
FIGURA 5 – Etapas do método PDCA de solução de problemas....21
FIGURA 6 – Fluxograma simplificado das operações unitárias na empresa....24
FIGURA 7 – Processo de alvejamento na Fase 1....25
FIGURA 8 – Processo de alvejamento na Fase 2....26
FIGURA 9 – Processo de alvejamento na Fase 3....27
FIGURA 10 – Curva de pH x Viscosidade para dosagem de sulfato de alumínio sem adição de ácido sulfúrico....30
FIGURA 11 – Curva de pH x Viscosidade para dosagem de sulfato de alumínio com adição de ácido sulfúrico....30
FIGURA 12 – Consumo de Sulfato de Alumínio em kg/t no ano de 2020....31
FIGURA 13 – Custo global de químicos no alvejamento em 2020....31
FIGURA 14 – *Saving* projetado acumulado para consumo de sulfato de alumínio em 2020....32
FIGURA 15 – Cronograma do projeto PDCA....32
FIGURA 16 – Ocorrências de manutenção relacionadas ao processo de alvejamento (set-nov/2020)....33
FIGURA 17 – Diagrama de causa e efeito....34
FIGURA 18 – Plano de ação para melhoria no alvejamento....34
FIGURA 19 – Consumo específico de sulfato de alumínio (kg/t) (2020/2021)....36
FIGURA 20 – Custo global de químicos 2020/2021....37

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Consumo específico de químicos em kg/t e impacto em R$ em 2020.....28
TABELA 2 – Resultados dos testes de bancada para polpa sem dosagem de H_2SO_4 em polpa de caulim centrifugado.....29
TABELA 3 – Resultados dos testes de bancada para polpa com dosagem de H_2SO_4 em polpa de caulim centrifugado.....29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANM – Agência Nacional de Mineração

DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve e Control*

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração

JUSE – *Japanese Union for Scientists and Engineers*

OJT – *On the job training*

PDCA – *Plan, Do, Check, Act*

TQC – *Total Quality Control*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO....13
2 OBJETIVOS....14
2.1 OBJETIVO GERAL....14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS....14
3 JUSTIFICATIVA....14
4 REVISÃO DA LITERATURA....15
4.1 CAULIM....15
4.1.1 BENEFICIAMENTO DE CAULIM....15
4.1.1.1 ALVEJAMENTO FÍSICO E ALVEJAMENTO QUÍMICO....16
4.2 GESTÃO E CONTROLE DA QUALIDADE....18
4.3 FERRAMENTAS DA QUALIDADE....18
4.3.1 *Brainstorming*....19
4.3.2 Diagrama de Pareto....19
4.3.3 Diagrama de causa e efeito ou Ishikawa....19
4.4 MÉTODO PDCA....19
5 METODOLOGIA....22
6 ESTUDO DE CASO....23
6.1 DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO....23
6.1.1 MODIFICAÇÕES NO PROCESSO DE ALVEJAMENTO....24
6.2 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO PDCA....28
6.2.1 ETAPA "P" – *PLAN*....28
6.2.2 ETAPA "D" – *DO*....35
6.2.3 ETAPA "C" – *CHECK*....36
6.2.4 ETAPA "A" – *ACT* – PROPOSTA DE CONTROLE....37
7 CONCLUSÕES....38
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS....39

1 INTRODUÇÃO

O beneficiamento mineral é uma das atividades mais relevantes na economia brasileira.

No Brasil, segundo a ANM (2019), a produção de caulim representa 0,5% da atividade mineral, sendo o Estado do Pará o maior produtor. Dados do Simineral (2019) apontam que, no ano de 2018, o total de exportações do Estado alcançou US$ 15,608 bi, sendo US$ 168,365 mi, 1.546.049 toneladas de caulim produzidas, sendo Bélgica (37,33%), Canadá (18,44%) e Estados Unidos (16,18%) os principais compradores.

Com o advento da pandemia de COVID-19, houve impacto nas operações da empresa estudada e no volume produzido: -25% em relação ao realizado em 2019 e -11% em relação ao previsto para o ano de 2020.

Consequentemente, a busca por redução de custos se intensificou. Continuou-se avançando nos projetos de engenharia: desenvolvimento de tecidos filtrantes, produtividade dos separadores magnéticos, coagulantes e alvejantes de alto rendimento e novas aplicações de matéria-prima. Porém, pequenas modificações nas operações já existentes também podem trazer ganhos sem a necessidade de grandes investimentos.

A empresa adotou diversos métodos de análise e solução de problemas, visando reduzir a variabilidade nas etapas de produção e aumentando a performance das equipes e dos processos. Os projetos de melhoria são voltados para todos os processos, especialmente aqueles que afetam diretamente a segurança das operações, os custos e qualidade do produto final. Para o desenvolvimento destes projetos, a empresa optou pela metodologia PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), com o fomento da cultura da melhoria contínua como objetivo principal.

Com o aumento do custo dos insumos, o beneficiamento de caulim na empresa estudada passou por reformulações ao longo do tempo. A etapa de alvejamento químico já passou por modificações de processo, aos quais chamaremos de Fases 1, 2 e 3, e sempre é foco de melhoria pois seu resultado não sofre reajuste posterior para especificação, tornando esta etapa especialmente delicada quando se somam custos de produção, qualidade e adequação do produto final.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Reduzir o consumo específico de sulfato de alumínio em 2% no processo de alvejamento químico, aplicando a metodologia PDCA em uma planta de beneficiamento de caulim.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Ajustar o consumo específico de ácido sulfúrico no alvejamento;
b) Propor fluxo de comunicação para resolução de ocorrências de manutenção corretiva.

3 JUSTIFICATIVA

O caulim utilizado na indústria papeleira tem duas funções: carga e revestimento. Enquanto carga, o caulim tem a função de preencher os espaços vazios entre as fibras de celulose, tendo entre 40-50% da granulometria abaixo de 2μm. Para revestimento, o caulim fornece ao papel uma superfície macia e brilhante, com granulometria mais fina e alvura entre 85 e 90% (CARVALHO; MARCIANO NETO, 1994).

Cada etapa tem sua importância no processo e, para que não haja o risco de reprocesso ou perda de especificação, todas as etapas têm variáveis de qualidade definidas.

No que tange ao consumo de insumos, os produtos químicos e o combustível utilizados no processo representam a maior parte dos custos de produção (40%), por seu preço de aquisição e volume de consumo.

No alvejamento químico da empresa estudada são usados três destes insumos, de forma contínua: sulfato de alumínio, ácido sulfúrico e ditionito de sódio. Destes, o ditionito de sódio tem o custo unitário maior e depende diretamente da eficiência dos outros dois. Portanto, qualquer alteração de ordem operacional, de projeto ou equipamento impacta sobremaneira o bom andamento do processo.

Nos últimos dez anos, foram feitas alterações no projeto de alvejamento, sempre buscando aumentar a eficiência do processo com o menor custo de produção possível, além de adequá-lo às mudanças de mercado, equipamentos e/ou caracterização do minério.

Estas alterações impactaram os custos de produção pois aumentaram o consumo específico de sulfato de alumínio, baseado na dosagem de ácido sulfúrico na polpa. Apesar de não ser o insumo de valor mais alto, a dosagem de sulfato de alumínio, enquanto acidificante e coagulante, afeta as etapas de alvejamento, filtragem e redispersão, pois altera o pH e a viscosidade da polpa.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 CAULIM

O termo caulim é utilizado tanto para denominar a rocha que contém a caulinita como o seu principal constituinte, quanto para o produto resultante do seu beneficiamento. O caulim é uma rocha de granulometria fina, constituída de material argiloso, normalmente com baixo teor de ferro, de cor branca ou quase branca (GRIM, 1958 apud LUZ, 2005).

O caulim é composto de um grupo de silicatos hidratados de alumínio constituído, principalmente, por argilominerais caulinita e haloisita (SILVA, 2001 apud CRISCUOLO, 2005). A caulinita é um filossilicato, cuja célula unitária é expressa por $Al_4(Si_4O_{10})(OH_8)$, que apresenta partículas hexagonais (*booklets*); a haloisita é uma variedade polimorfa da caulinita e apresenta sistemas diferentes de cristalização (LUZ; LINS, 2005).

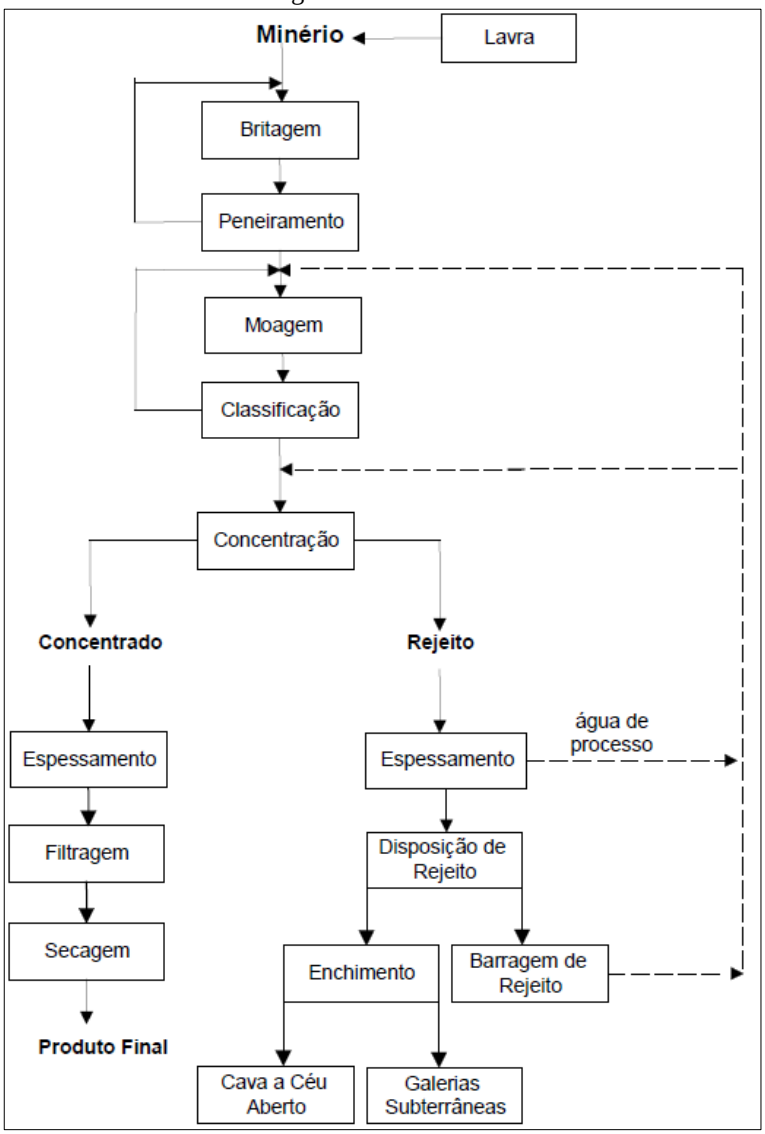
O caulim do Estado do Pará é essencialmente caulinítico, uma vez que as percentagens de SiO_2 e Al_2O_3 se aproximam dos valores teóricos estabelecidos para a caulinita (46,5 e 39,5%, respectivamente) (SILVA, 2011).

O caulim é um dos principais minerais de performance (parte da matéria-prima) na indústria de papel - como carga (*filler*) ou cobertura (*coating*), além de ter aplicações em cerâmicas, tintas, cosméticos e medicamentos.

4.1.1 BENEFICIAMENTO DE CAULIM

O beneficiamento de minérios consiste de operações visando modificar a granulometria, concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma sem, contudo, modificar a identidade química ou física dos minerais, como ilustrado na Figura 1 (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

FIGURA 1 – Fluxograma de beneficiamento de minério



Fonte: Luz; Sampaio; França (2010).

O caulim é um mineral de performance cujas características físico-químicas comerciais principais são: alvura, granulometria e formato das partículas. A presença de minerais contaminantes (hematita, atanásio, quartzo, cristobalita, alunita, esmectita) compromete a qualidade do produto final, dependendo do objetivo a que se destina, afetando propriedades importantes, como a alvura, a brancura, a viscosidade e a abrasividade (LUZ; LINS, 2005).

4.1.1.1 ALVEJAMENTO FÍSICO E ALVEJAMENTO QUÍMICO

No alvejamento físico, a polpa de caulim desareada é bombeada para um separador magnético, onde as partículas ferromagnéticas são separadas do caulim por capilaridade de lãs de aço empacotadas, que sofrem ação deste campo. Esta etapa do processo é importante para o ganho no teor de alvura do minério pois, para caulins destinados à indústria de papel, a alvura

deve apresentar valores de 86 a 90% ISO para cobertura; e 80 – 85% ISO para carga (PEREIRA; COSTA, 1996).

No alvejamento químico, a polpa recebe uma dosagem de ditionito de sódio ($Na_2S_2O_4$), um reagente redutor, com o objetivo de solubilizar o ferro ainda presente, por reação de oxirredução. O ferro passa do estado de valência +3 para o estado de valência +2, uma vez que o ferro com valência 2+ é altamente solúvel em água, podendo facilmente ser retirado durante a etapa de filtragem. A redução é possível através da adição de um agente redutor ou lixiviante (CARVALHO; MARCIANO NETO, 1994). A equação que representa essa reação é descrita abaixo:

$$S_2O_4^{2-}{}_{(aq)} + 2Fe_2O_{4(s)} + 2H^+_{(aq)} \rightarrow 2(SO_4)^{2-}_{(aq)} + 4Fe^{2+}_{(aq)} + 2H_2O_{(l)} \quad (1)$$

Há alvejamentos feitos com outros redutores: o óxido e hidróxido férrico (Fe_2O_3 e $Fe(OH)_3$) porém estes possuem solubilidades bastante limitadas. Portanto, para que essas impurezas sejam eliminadas, é necessária uma reação de redução do Fe^{3+} que ocorra em meio ácido, pH entre 3,0 e 4,5; daí o reagente redutor mais utilizado ser o ditionito de sódio (SILVA *et al*, 2011).

Valores de pH muito baixos instabilizam a reação de oxirredução e comprometem o ganho de alvura nesta etapa do beneficiamento, causando uma "reversão" na alvura do produto, dando origem à formação de H_2S (equação 2) e precipitação de enxofre (equações 3 e 4):

$$3(S_2O_4)^{2-}{}_{(aq)} + 6H^+_{(aq)} \rightleftharpoons 5(SO_2)_{(g)} + H_2S_{(g)} + 2H_2O_{(l)} \quad (2)$$

$$SO_{2_{(g)}} + 2H_2S_{(g)} \rightleftharpoons 3S_{(s)} + 2H_2O_{(g)} \quad (3)$$

$$H_2S_{(aq)} + SO_4{}^{2-}_{(aq)} + 6H^+_{(aq)} + 4e^- \rightleftharpoons 2S_{(s)} + 4H_2O_{(l)} \quad (4)$$

O controle do pH no alvejamento químico é uma variável de processo importante, pois beneficia ainda mais a reação de lixiviação por provocar aumento do potencial redox (CARVALHO; MARCIANO NETO, 1994).

Geralmente, o processo de alvejamento é composto de dosagem de alvejante e depois dosagem de sulfato de alumínio (Al_2SO_4) para coagular a polpa (SILVA *et al*, 2011). O tempo de branqueamento varia de caulim para caulim, normalmente de 20 minutos até 3 horas

(CRISCUOLO, 2005). Porém, para efeito de processo produtivo, o tempo menor é mais viável, pois reduz o tempo total de processamento do minério.

4.2 GESTÃO E CONTROLE DA QUALIDADE

Shewart (1931), em seus estudos na Bell Telephone Laboratories, desenvolveu uma base científica através da qual seria possível obter um controle econômico da qualidade da fabricação definindo limites de controle em todas as etapas do processo produtivo: desde a aquisição da matéria-prima até o produto final. Qualquer desvio no processo indicaria que a rotina de fabricação teria sido quebrada e deixaria der ser econômica até que a causa do problema fosse removida.

Juran (1951) define como qualidade tanto o conjunto de produtos que vão ao encontro das necessidades do cliente quanto produtos livres de defeitos. Os efeitos financeiros decorrentes da falta de qualidade em um produto são inversamente proprocionais: quanto maior o controle de qualidade, menor os custos associados ao desenvolvimento do bem ou serviço.

Feigenbaum (1956) propôs o Controle da Qualidade Total (TQC), porque acreditava que, isoladamente, não seria possível desenvolver produtos de qualidade sem o envolvimento de outros setores da empresa. A razão disso é que a qualidade de um produto não dependeria somente dele em si, mas de todos os processos que o acompanham.

Garvin (1987) afirmou que, apesar de adotar programas bem-sucedidos em controle de qualidade, as empresas estadunidenses não haviam aprendido a “competir” em qualidade, ou seja, elas implementavam os programas mas não os mantinha em atividade.

A falta de conhecimento leva a problemas estruturais relacionados ao controle de qualidade: os processos acompanham a demanda, porém a qualidade não segue o mesmo ritmo. Há volume, mas há muitas falhas. Em outros casos, o controle de qualidade acompanha o processo no mesmo ritmo, porém o excesso de estruturas procedimentais pode dificultar a implementação de melhorias. Todas estas questões independem do tamanho do negócio. Empresas com muitos anos de mercado buscam meios de fazer com que os trabalhos de melhoria já desenvolvidos não se percam e possam dar espaço a novas visões do processo. Assim como empresas jovens podem fazer uso de *benchmarking* e estruturar seus processos de forma que sempre haja espaço para crescer com segurança.

4.3 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Vieira (2012) afirma que a denominação “sete ferramentas estatísticas de qualidade” surgiu no Japão, após a Segunda Guerra Mundial, como resposta à demanda por controle de

qualidade. A capacitação da mão de obra para a leitura dos gráficos, mesmo que fossem simples, auxiliava na resolução dos problemas.

Estas ferramentas são: folha de verificação, estratificação, diagrama de Pareto, histograma, diagrama de Ishikawa, gráfico de controle e diagrama de dispersão.

Além destas ferramentas, há outras, como: *brainstorming*, análise de modo e efeito de falhas (FMEA), árvore de análise de falhas (FTA), fluxogramas, dentre outras. Todas elas, ou somente algumas delas, associadas a uma metodologia de melhoria contínua, como PDCA, DMAIC, *Six Sigma*, podem contribuir para os resultados, através de intervenções no processo produtivo.

4.3.1 *Brainstorming*

O *brainstorming* é uma técnica de idéias em grupo que envolve a contribuição espontânea de todos os participantes. Todas as sugestões são levadas em consideração e, posteriormente, filtradas para chegar à causa raiz do problema (VIEIRA, 2012).

4.3.2 Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto apresenta a distribuição das perdas, por ordem de frequência. O diagrama de Pareto estabelece, portanto, prioridades, porque estabelece a ordem em que as perdas devam ser sanadas (VIEIRA, 2012).

4.3.3 Diagrama de causa e efeito ou Ishikawa

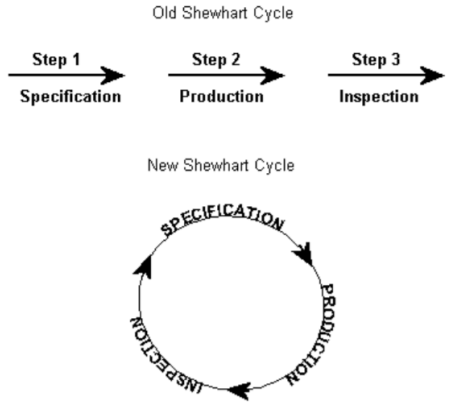
O diagrama de causa e efeito classifica as causas mapeadas no *brainstorming* em seis categorias: máquina, mão de obra, material, meio ambiente, método e medida. A partir daí, é possível identificar a causa do problema e definir as prioridades de ação (VIEIRA, 2012).

4.4 MÉTODO PDCA

A Norma ISO 9001 (2015) discorre sobre a adoção de um sistema de gestão da qualidade, seus benefícios e estruturação. A norma incorpora o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) na sua abordagem de processo. O objetivo é buscar a satisfação do cliente pelo atendimento aos requisitos.

Shewart (1939) desenvolveu o seu modelo de ciclo de melhoria, que consistia em especificação, produção e inspeção, que correspondem a desenvolver uma hipótese, realizar experimentos e testas as hipóteses, como mostrado na Figura 2:

FIGURA 2 – Ciclo de Shewart

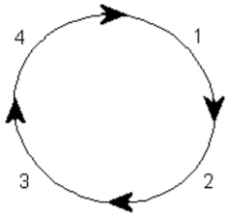


Fonte: Shewart (1939).

Os três passos do círculo na Figura 2 constituem um processo científico dinâmico de aquisição de conhecimento.

Deming (1950) modificou o ciclo de Shewart durante um seminário para a JUSE (*Japanese Union of Scientists and Engineers*). As etapas consistiam em desenhar-produzir-vender-redesenhar, como mostra a Figura 3:

FIGURA 3 – Ciclo de Deming para seminário na JUSE

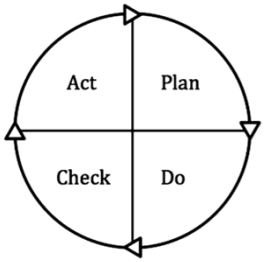


Fonte: Deming (1950)

As quatro etapas do ciclo de Deming, tais quais as de Shewart, deveriam rodar constantemente, almejando sempre a qualidade do produto e serviço.

Imai (1986) afirmou que os executivos japoneses remodelaram o ciclo de Deming para o ciclo PDCA, modificando os conceitos das etapas: desenhar (*plan*) – produzir (*do*) – vender (*check*) – redesenhar (*act*), como ilustra a Figura 4:

FIGURA 4 – Modelo do ciclo PDCA - JUSE



Fonte: Taylor *et al.* (2014).

O ciclo de quatro etapas da Figura 4 inclui planejamento, execução, checagem e ação, enfatizando a prevenção de recorrências através do estabelecimento de padrões e suas atualizaçlões.

O ciclo PDCA é uma das metodologias utilizadas nos programas de melhoria contínua. Ele consiste em um ciclo para a resolução de um problema, desde a sua identificação até a padronização dos processos, buscando a eliminação da variabilidade. Na metodologia, são utilizadas as ferramentas da qualidade citadas acima, em sua totalidade ou parcialmente, além de ferramentas presentes em outras metodologias de resolução de problemas.

Campos (2013) estabeleceu um médoto de aplicação do PDCA, utlizado por muitas empresas, que consiste nas etapas ilustradas na Figura 5:

FIGURA 5 – Etapas do método PDCA de solução de problemas

Tabela 9.2: Método de Solução de Problemas.

PDCA	FLUXO-GRAMA	FASE	OBJETIVO
P	1	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	Definir claramente o problema e reconhecer sua importância
	2	ANÁLISE DO FENÔMENO	Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista. Desdobrar o problema em problemas menores que podem ser mais facilmente resolvidos.
	3	ANÁLISE DO PROCESSO	Descobrir as causas fundamentais de cada problema menor.
	4	PLANO DE AÇÃO	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais de cada problema menor.
D	5	EXECUÇÃO	Bloquear as causas fundamentais.
C	6	VERIFICAÇÃO	Verificar se o bloqueio foi efetivo.
	N ? S	(BLOQUEIO FOI EFETIVO?)	
A	7	PADRONIZAÇÃO	Prevenir contra o reaparecimento do problema.
	8	CONCLUSÃO	Recapitular todo o processo de solução do problema para trabalhos futuros.

Fonte: Campos (2013).

As etapas do ciclo PDCA no modelo de Campos (2013) são divididas em atividades que vão desde a identificação do problema até a padronização dos processos, com o objetivo de manter os resultados.

Para isto, são utilizadas as ferramentas da qualidade e a estruturação de um plano de ação voltado para gestão de pessoas e processos.

5 METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa aplicada neste trabalho foi o estudo de caso descritivo, que tem por objetivo mostrar ao leitor uma realidade que ele não conhece; não procura estabelecer relações de causa e efeito, embora os resultados possam ser usados posteriormente para a formulação de hipóteses (YIN, 1993 apud TURRIONI e MELLO, 2012).

O trabalho tem abordagem qualitativa e quantitativa, visto que são feitas análises de custo, medições e impactos na produtividade; além da questão da visão do corpo operacional sobre os processos em que eles estão inseridos.

Foram estudados os processos anteriores e atual da operação, o modelo de gestão de rotina executado e o levantamento dos dados de custos e consumos disponíveis, para basear as ações desenvolvidas no projeto. A revisão bibliográfica permite a comparação entre a teoria e o que é feito na prática, buscando inconsistências ou possíveis equívocos na interpretação da aplicação dos modelos.

O trabalho foi desenvolvido com a aplicação da metodologia PDCA associada às ferramentas de qualidade, seguindo o passo-a-passo sugerido por Campos (2013) para as quatro etapas do processo, com o objetivo de melhorar o processo existente através de revisões de projeto, procedimentais e de aprendizagem organizacional, através do OJT (*On-the-job training*), como parte da gestão estratégica da empresa, que é voltada para melhoria contínua.

De acordo com a ISO 9001, o PDCA é uma metodologia através da qual pode-se antecipar, planejar, executar e controlar determinado um projeto que tem por objetivo criar um novo processo ou melhorar aquele já existente. Neste caso, o PDCA foi desenvolvido para melhorar um projeto existente.

Foram envolvidas as áreas de Produção e Melhoria Contínua da empresa, que é responsável por gerir os projetos PDCA de toda a empresa, acompanhando e orientando sobre seu desenvolvimento.

O estudo de caso iniciou em janeiro de 2020, com a definição e identificação do problema (etapa *plan*), porém, com o advento da pandemia, todas as atividades de campo foram suspensas. O projeto foi retomado durante o período de setembro de 2020 a abril de 2021, acompanhando as atividades *in loco*, tanto na sala de controle, quanto na área do alvejamento. O recebimento dos dados referentes ao período total do ano de 2020 foram levantados remotamente. Neste último período, os dados foram revisados e dado início às etapas seguintes do projeto (etapas *do-check-act*).

Não foram considerados os meses de junho e novembro de 2020 na análise, por ter havido parada operacional na planta.

Foram realizados testes de bancada para comprovar a viabilidade da meta definida pelo PCP e a possível influência da caracterização do minério e das etapas anteriores da operação no produto recebido na etapa de alvejamento.

Não foi levada em consideração a comparação dos custos relacionados à operação com ou sem ácido sulfúrico e, sim, a adequação da operação atual no que se refere às condições operacionais e de projeto definidas. Os consumos específicos de ditionito de sódio, poliacrilato de sódio e carbonato de cálcio são ganhos esperados, porém não estão considerados neste estudo.

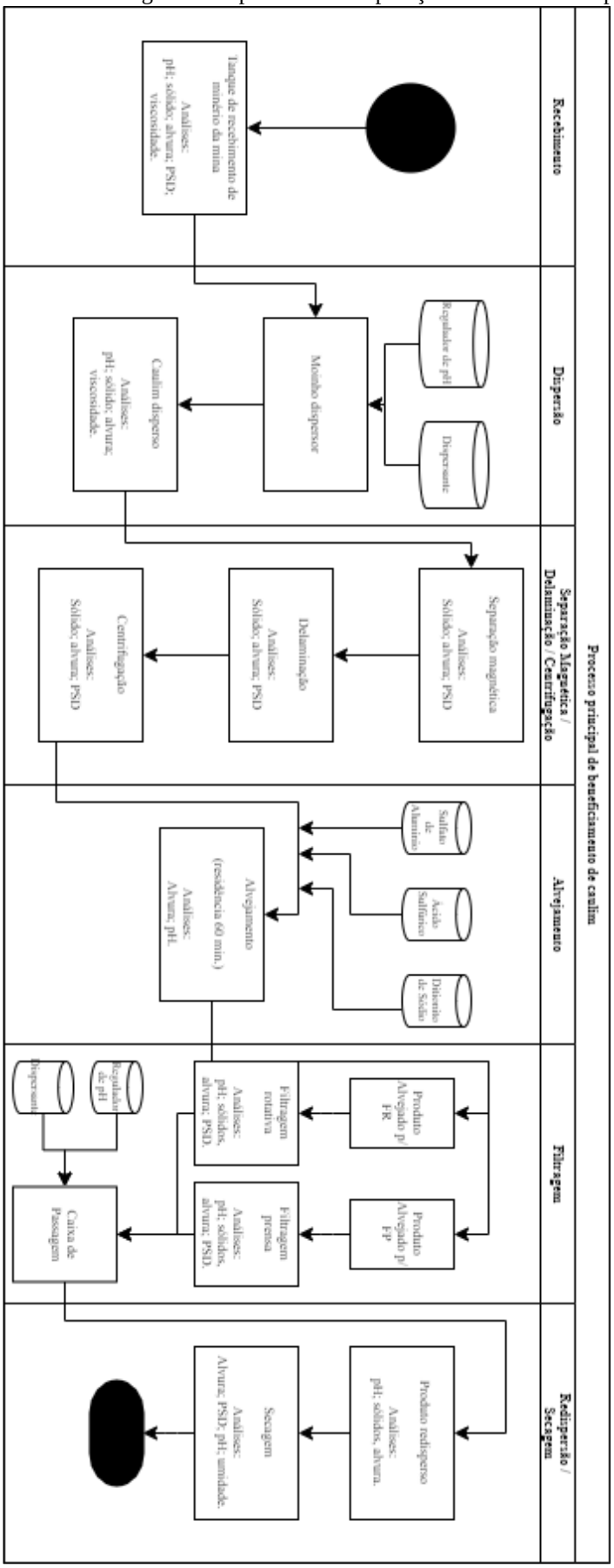
6 ESTUDO DE CASO

6.1 DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO

Na empresa estudada, o beneficiamento de caulim segue as etapas da Figura 6, conforme descritas em Barata (1998) apud Moraes (2014):

> Os processos de beneficiamento e remoção de impurezas dessas indústrias, em linhas gerais são semelhantes, e consistem da dispersão do caulim em solução alcalina, logo após a extração da mina. A primeira etapa é a separação do resíduo maior que 44μm por meio de sedimentação e peneiras vibratórias. A suspensão peneirada de caulim passa por centrífugas que irão remover as partículas maiores que 2μm. Em seguida, a suspensão de partículas finas ($\phi <$ 2μm.) é submetida ao separador magnético, de modo que impurezas (fração magnética) sejam removidas como óxidos de ferro e titânio, que dão a coloração rósea ao caulim. Após as etapas de centrifugação e separação magnética, a polpa de caulim isenta da fração magnética é submetida a processo de branqueamento químico e aglomerada através de soluções de sulfato de alumínio isento de ferro, com a finalidade de permitir o processo de filtração em filtros prensa ou filtro a vácuo (tipo tambor rotativo), onde se obtém uma torta sólida de caulim, [...] que novamente é dispersa através da adição de defloculante, de modo a neutralizar o sulfato de alumínio utilizado no processo anterior de filtração, obtendo-se assim, uma nova suspensão de elevada concentração de sólidos, que é enviada por bombeamento para um secador do tipo “spray-dryer” no qual se obtém outro produto final, mais caro que o produto anterior, pois apresenta como principal característica a fácil dispersão no processo de sua utilização final.

FIGURA 6 – Fluxograma simplificado das operações unitárias na empresa



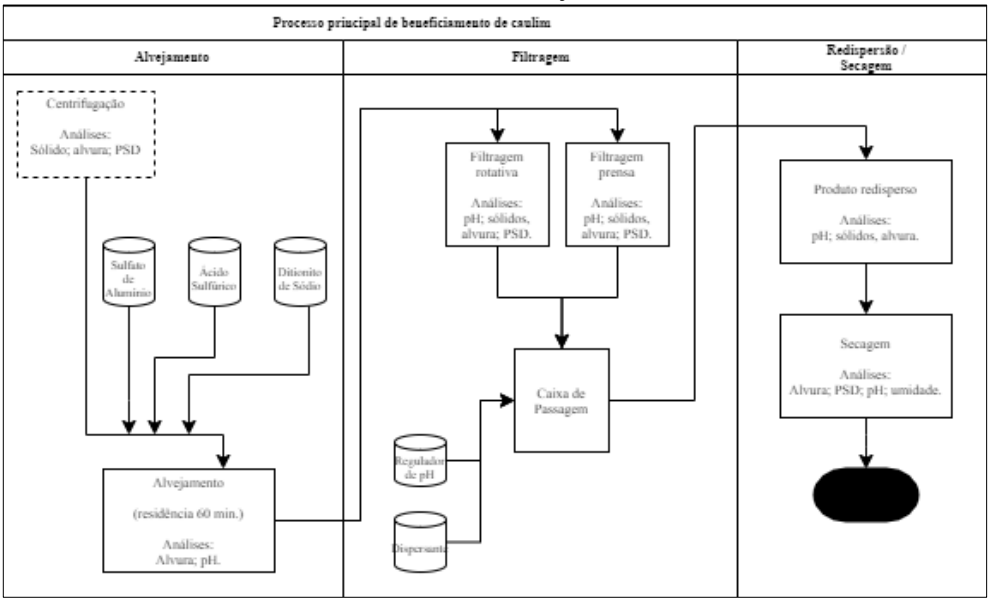
Fonte: Autora (2021).

6.1.1 MODIFICAÇÕES NO PROCESSO DE ALVEJAMENTO

Em cada fase de expansão da planta de produção, a área de alvejamento sofreu modificações para atender às demandas de processo e mercado, desde mudanças nas linhas e equipamentos, às sequências de adição de insumos e dosagens, o que, cumulativamente, resultaram em redução do desempenho e aumento dos consumos específicos.

No que pode ser chamada de "Fase 1", o alvejamento ocorria com dosagens de sulfato de alumínio (Al_2SO_4) (coagulante/auxiliar de filtragem), ácido sulfúrico (H_2SO_4) (ajuste de pH) e ditionito de sódio ($Na_2S_2O_4$) (alvejante da polpa), como ilustrado na Figura 7.

FIGURA 7 – Processo de alvejamento na Fase 1

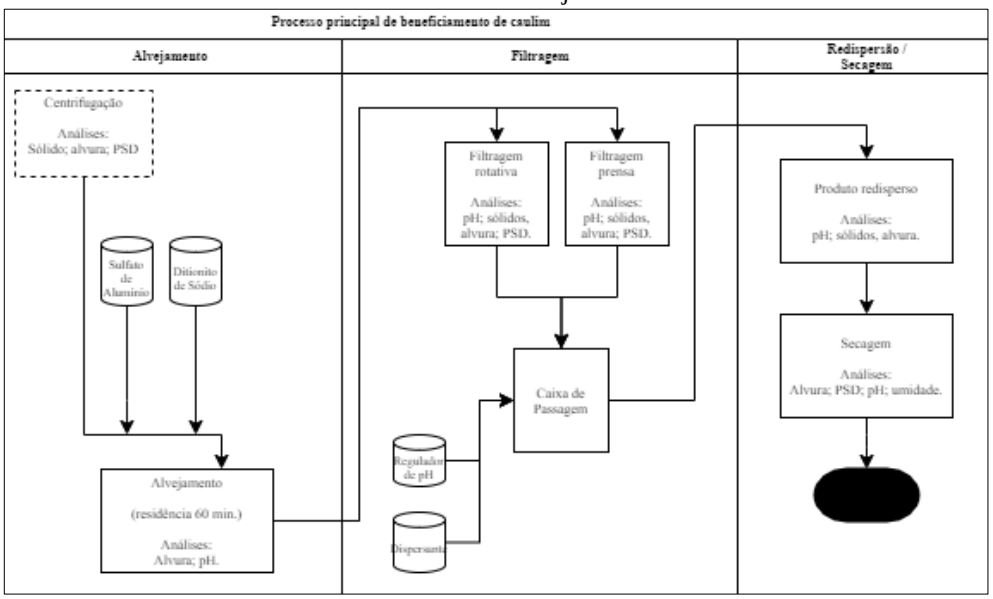


Fonte: Autora (2021).

À época, com as características dos equipamentos, era possível filtrar a polpa com viscosidade de 700 cP. Os químicos eram dosados na sequência definida em ensaio de bancada, homogeneizados em linha através dos misturadores estáticos montados em série, durante a transferência para o tanque de residência e alimentação da filtragem.

No que pode ser chamada de "Fase 2", a dosagem de ácido sulfúrico foi descontinuada, o processo mudou, com filtros de maior eficiência, e a viscosidade de 700 cP não atendia mais à demanda do processo. A dosagem de sulfato de alumínio passou a ser usada tanto como acidificante quanto como coagulante para a etapa de filtragem. O consumo específico total de sulfato de alumínio nesta etapa ficava em torno de 3,0 kg/t de caulim. O fluxograma da Figura 8 mostra o processo de alvejamento nessa fase:

FIGURA 8 – Processo de alvejamento na Fase 2



Fonte: Autora (2021).

A solução de sulfato de alumínio (15% p/p) é injetada através de bomba dosadora, diretamente no primeiro misturador ou na sucção da bomba de polpa para ajustar o pH de reação na faixa de 4,7 a 5,2. Em linha, é injetada a solução de ditionito de sódio (10% p/v), através de bomba dosadora de mesmo modelo no segundo misturador estático ou sucção da bomba de polpa como agente alvejante. O alvejamento se inicia em linha e termina no tanque após 30 minutos de reação. Em seguida a polpa é bombeada dos tanques de caulim alvejado para alimentação da filtragem sem nenhum ajuste adicional de pH x viscosidade.

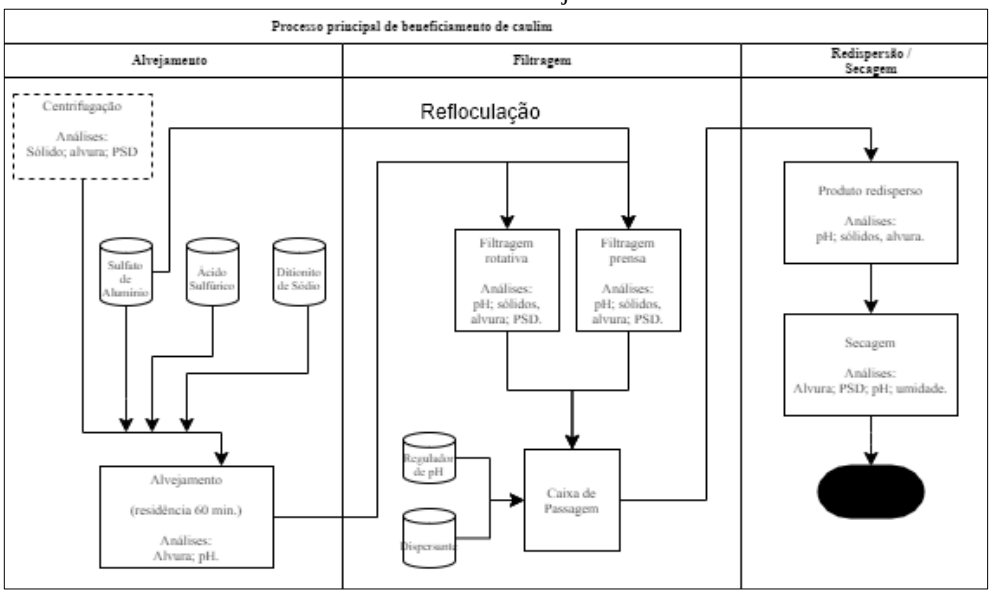
A redispersão é a etapa em que a torta formada na filtragem é defloculada novamente para seguir para os evaporadores e *spray dryer*. Para que não haja perda no teor de sólido da polpa, o produto é redisperso com solução de poliacrilato de sódio e carbonato de sódio.

Com o tempo, os custos com produtos químicos foram aumentando, pois a dosagem maior de sulfato de alumínio requeria maior dosagem de poliacrilato de sódio ($[-CH_2-CH(CO_2Na)-]_n$) (dispersante) e carbonato de sódio (Na_2CO_3) (regulador de pH) na redispersão.

Com variáveis interdependentes, questões de custo, além do fator ergonômico do processo, em 2018 iniciaram os estudos para nova modificação do processo de alvejamento.

Podemos denominar esta última modificação de “Fase 3”. Esta fase foi iniciada em agosto de 2019, passando por testes de ajustes e foi, de fato, entregue em janeiro de 2020. O fluxograma da Figura 9 mostra o processo atual de alvejamento:

FIGURA 9 – Processo de alvejamento na Fase 3



Fonte: Autora (2021).

A solução de sulfato de alumínio (15% p/p) é injetada através de bomba dosadora, diretamente no primeiro misturador ou na sucção da bomba de polpa. Neste caso, ele age como pré-coagulante. Em linha é injetada a solução de ácido sulfúrico para ajustar o pH para a faixa de alvejamento: 3,0 - 4,5. Em seguida, é injetada a solução de ditionito de sódio (10% p/v), através de bomba dosadora de mesmo modelo no segundo misturador estático ou sucção da bomba de polpa como agente alvejante. O alvejamento se inicia em linha e termina no tanque após 30 minutos de reação. Em seguida a polpa é bombeada dos tanques de alvejado para alimentação da filtragem, com ajuste de viscosidade, através de um circuito de refloculação.

O circuito de refloculação consiste em dosar sulfato de alumínio após o tempo de residência de alvejamento com o objetivo de obter a viscosidade desejada para a filtragem prensa.

No processo estudado, a faixa de viscosidade requerida está entre 900 e 1200 cP. Com a pré-coagulação ainda não é possível alcançar estes parâmetros, além de se considerar o fato de que o processo de alvejamento aumenta o pH da polpa. Portanto, a segunda dosagem ajusta os dois parâmetros: pH e viscosidade. Ainda que se repita, o processo feito desta forma consome menos sulfato de alumínio, pois mantém níveis de pH consistentes, e causa melhor reação do ditionito de sódio, pois que não causa heterogeneidade no alvejamento.

Com as modificações, esperava-se redução no consumo específico dos três produtos químicos constantes do processo de alvejamento, nos produtos utilizados na redispersão e no orçamento previsto para os químicos.

Os objetivos principais desta modificação consistiam em:

a) Reduzir o consumo de sulfato de alumínio no alvejamento para 2,0 kg/t;
b) Reduzir o consumo de ditionito de sódio no alvejamento para 1,5 kg/t;
c) Controlar a viscosidade x pH da polpa de alimentação da filtragem;
d) Melhorar da performance de filtragem.

6.2 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO PDCA

6.2.1 ETAPA "P" – *PLAN*

Após a modificação do alvejamento (Fase 3) observou-se variabilidade tanto no ganho de alvura, quanto no condicionamento da polpa para filtragem, pois a dosagem insuficiente de ácido sulfúrico levou à dosagem acima do projetado para sulfato de alumínio. Com a polpa mais viscosa antes da dosagem de ditionito de sódio, o sulfato saturava sem alcançar o pH de alvejamento e coagulava a polpa dificultando a ação do alvejante.

O excesso na dosagem de sulfato de alumínio leva ao consumo maior de poliacrilato de sódio e carbonato de sódio, elevando o consumo global de químicos por tonelada.

Apesar destas ocorrências, o produto final atende aos parâmetros de conformidade, porém a um custo mais alto do que o esperado devido às correções realizadas no processo.

O consumo específico do sulfato de alumínio previsto é de 2,0 kg/t. Entretanto, a média do ano de 2020 foi de 2,52 kg/t – representando uma perda acumulada de R$ 595.823,82.

A Tabela 1 representa a distribuição dos consumos específicos e o custo de cada um no ano de 2020.

TABELA 1 – Consumo específico de químicos em kg/t e impacto em R$ em 2020

Orçamento	Sulfato de Alumínio		Ácido Sulfúrico		Ditionito de sódio	
	kg/t	R$	kg/t	R$	kg/t	R$
Realizado	2,52	2.887.453,90	0,26	1.390.954,91	1,95	2.596.239,36
Previsto	2,00	2.291.630,08	0,40	2.139.930,62	1,57	2.090.305,54
R-P	0,52	595.823,82	-0,14	-748.975,72	0,38	505.933,82

Fonte: Autora (2021).

Apesar do consumo abaixo do orçado para o ano de 2020, o ácido sulfúrico é a peça-chave para que o processo opere no melhor cenário. Com as dosagens corretas de ácido, os consumos de sulfato de alumínio e ditionito de sódio tendem a diminuir, porque suas dosagens são definidas de forma automatizada, baseada nos valores de pH. O mesmo ocorre para os produtos químicos utilizados na redispersão.

Durante a fase de identificação do problema, e por outros fatores, foi levantada a possibilidade de que a caracterização do minério influenciasse os resultados de consumo, por

exemplo, baixos índices de sólidos ou altos índices de pH do caulim centrifugado. Foram realizados testes de bancada reproduzindo as condições reais de operação, com variação nos índices citados acima, dosando os insumos utilizados no alvejamento tal qual utilizados em área. Os resultados demonstraram que a dosagem de ácido sulfúrico impacta nos consumos específicos, pois auxilia na redução de pH da polpa, facilitando a ação tanto do sulfato de alumínio quanto de ditionito de sódio, sendo possível chegar ao ponto ótimo de alvejamento e viscosidade para filtragem, sem risco de reversão de alvura, como mostram as Tabelas 2 e 3:

TABELA 2 – Resultados dos testes de bancada para polpa sem dosagem de H_2SO_4 em polpa de caulim centrifugado

	Dosagem Sulfato (kg/t)	**Dosagem Sulfato (mL)**	**pH inicial**	**pH após 30 minutos**	**Viscosidade**	**Alvura***
	0,0	0,0	7,82	7,82	14	-
Amostra 1	1,0	0,95	6,11	6,02	25	87,92
Amostra 2	1,5	1,43	5,55	5,96	54	88,13
Amostra 3	2,0	1,90	5,15	5,47	447	88,10
Amostra 4	2,5	2,38	4,78	5,09	645	88,27
Amostra 5	3,0	2,86	4,53	4,78	854	88,25

Fonte: Autora (2021)

TABELA 3 – Resultados dos testes de bancada para polpa com dosagem de H_2SO_4 em polpa de caulim centrifugado

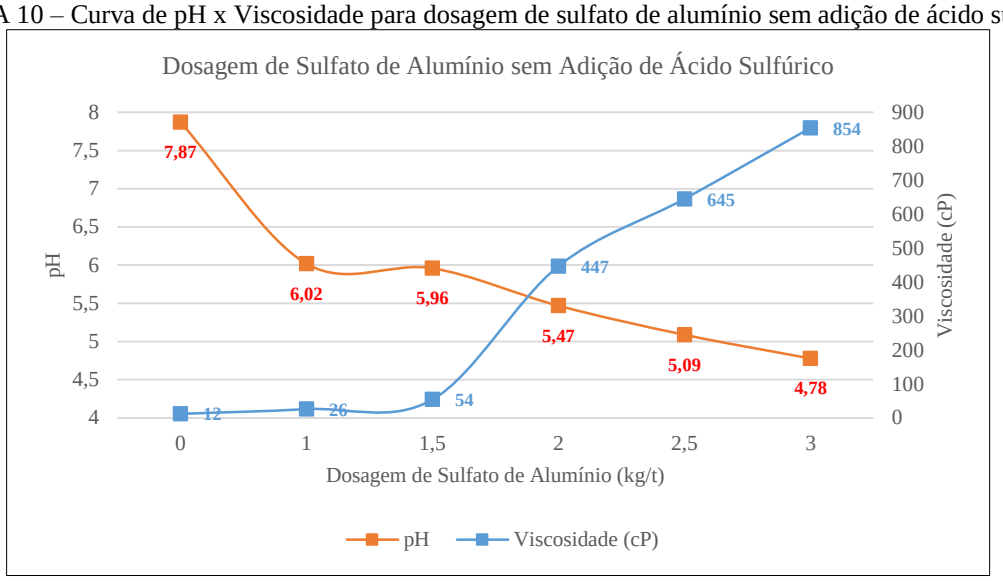
	Dosagem Sulfato (kg/t)	**Dosagem Sulfato (mL)**	**pH após dosagem de sulfato**	**Dosagem Ácido (kg/t)**	**Dosagem Ácido (mL)**	**pH inicial**	**pH após tempo de espera de 30 minutos***	**Viscosidade**	**Alvura***
	0,0	0,0	-	0,0	0,0	7,95	-	16	-
Amostra 1	1,0	0,95	6,16	0,5	1,0	4,02	4,72	224,4	87,00
Amostra 2	1,1	1,05	6,06	0,5	1,0	4,72	5,37	473	86,66
Amostra 3	1,2	1,14	5,99	0,5	1,0	4,72	5,33	593	86,61
Amostra 4	1,3	1,24	5,90	0,5	1,0	4,63	5,26	656	86,59
Amostra 5	1,4	1,33	5,34	0,5	1,0	4,25	4,85	1302	86,48

*pH após dosagem de ditionito de sódio

Fonte: Autora (2021)

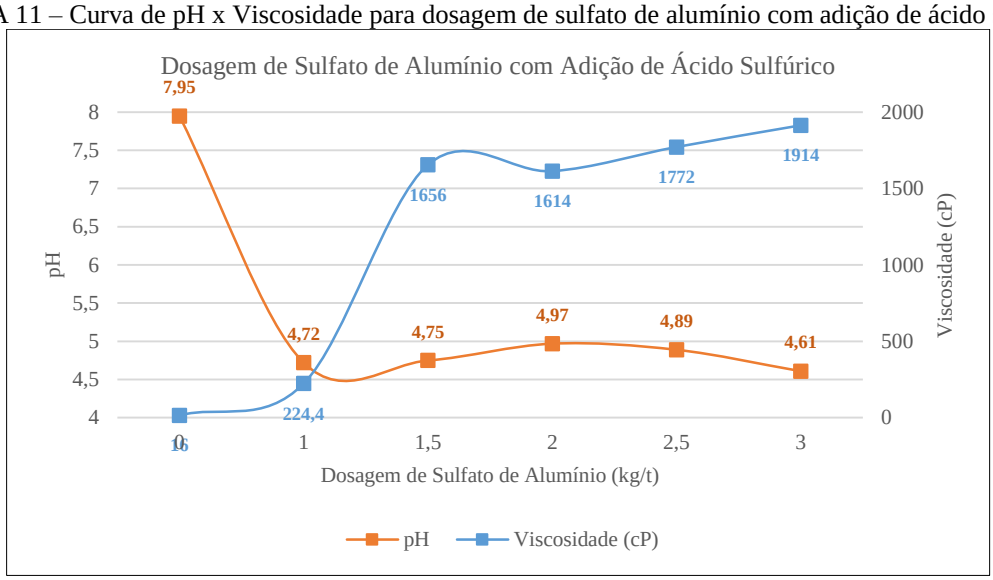
É possível identificar que o consumo de sulfato de alumínio pode dobrar, dependendo das condições da polpa, ou seja, manter o sistema dentro das melhores condições é fator determinante para a redução dos consumos globais. Em situação ideal, poderíamos alcançar o consumo de 1,1 kg/t se sulfato de alumínio no processo. Graficamente, o impacto da dosagem de ácido sulfúrico pode ser vista nas Figuras 10 e 11:

FIGURA 10 – Curva de pH x Viscosidade para dosagem de sulfato de alumínio sem adição de ácido sulfúrico



Fonte: Autora (2021).

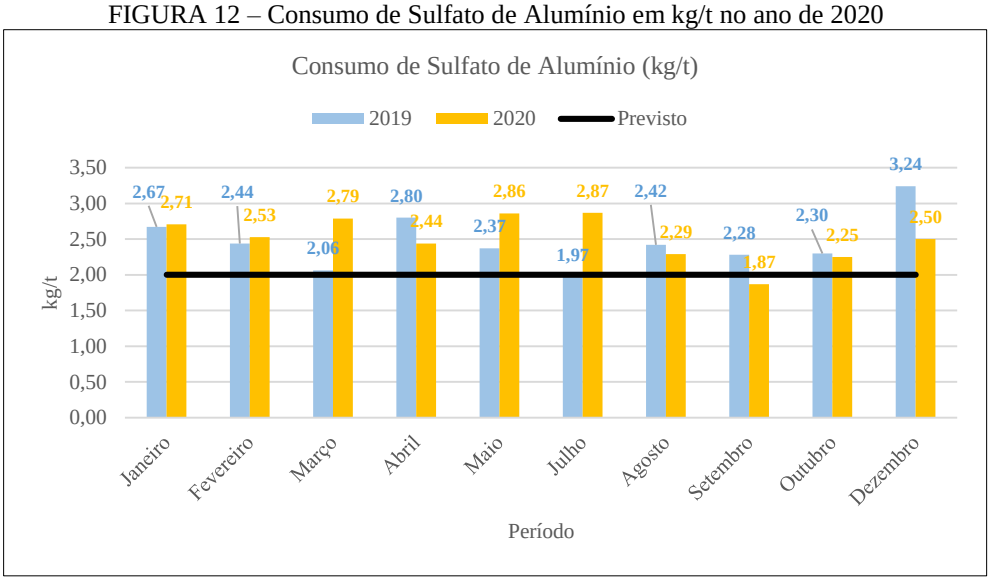
FIGURA 11 – Curva de pH x Viscosidade para dosagem de sulfato de alumínio com adição de ácido sulfúrico



Fonte: Autora (2021)

Como mostra o gráfico da Figura 12, o consumo de sulfato de alumúnio (kg/t) não sofreu alteração significativa a partir da modificação do alvejamento, demonstrando uma ineficiência no processo, que não era alvo de atenção porque os custos de aquisição não haviam aumentado significativamente em 2019.

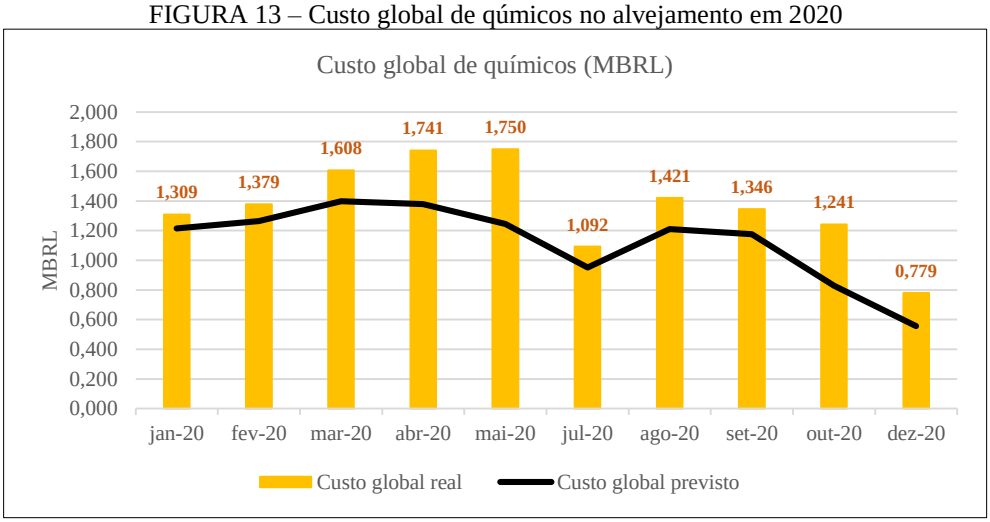
FIGURA 12 – Consumo de Sulfato de Alumínio em kg/t no ano de 2020



Fonte: Autora (2021)

Porém, em 2020, em virtude da pandemia de COVID-19, os insumos sofreram reajustes acima do que era previsto para o ano. Em nenhum período do ano de 2020 o custo global dos químicos esteve abaixo do orçamento, como mostra o gráfico da Figura 13:

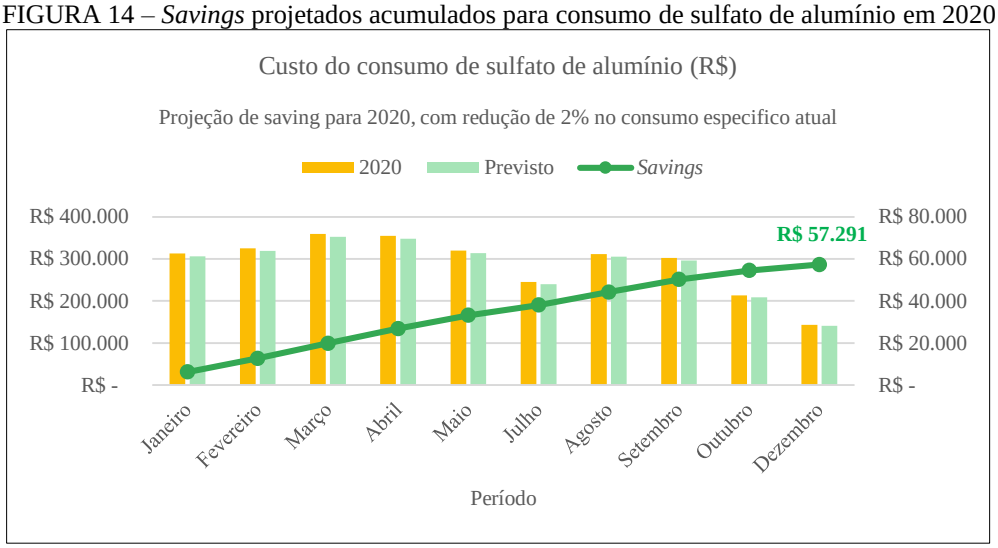
FIGURA 13 – Custo global de químicos no alvejamento em 2020



Fonte: Autora (2021).

Reduzir o consumo de sulfato de alumínio em 2%, de 2,53 kg/t para 2,48 kg/t, diante da condição atual de operação é o horizonte realizável de melhoria. Entretanto, o objetivo maior é fazer com que o alvejamento opere dentro das especificações de projeto: sulfato de alumínio a 2,0 kg/t; ácido sulfúrico a 0,4 kg/t e ditionito de sódio a 1,57 kg/t. Caso a redução tivesse ocorrido no ano de 2020, seria percebido um ganho de R$ 57.291,00 no custo anual com sulfato de alumínio, como mostra o gráfico da Figura 14:

FIGURA 14 – *Savings* projetados acumulados para consumo de sulfato de alumínio em 2020

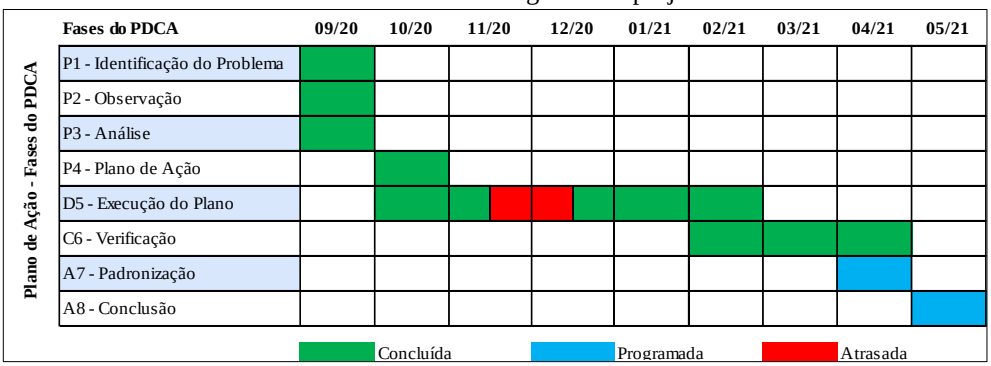


Fonte: Autora (2021).

Mesmo que o ganho percebido represente 10% das perdas, ao longo do tempo seriam percebidos ganhos nos consumos dos outros produtos, que não estão projetados no estudo. Com reduções progressivas, pode-se chegar ao consumo de projeto, aumentando os *savings* anuais, ou seja, o quanto deixaria de ser gasto no processo.

Foi definido o cronograma do projeto, a partir do mês de setembro de 2020, como mostra a Figura 15:

FIGURA 15 – Cronograma do projeto PDCA



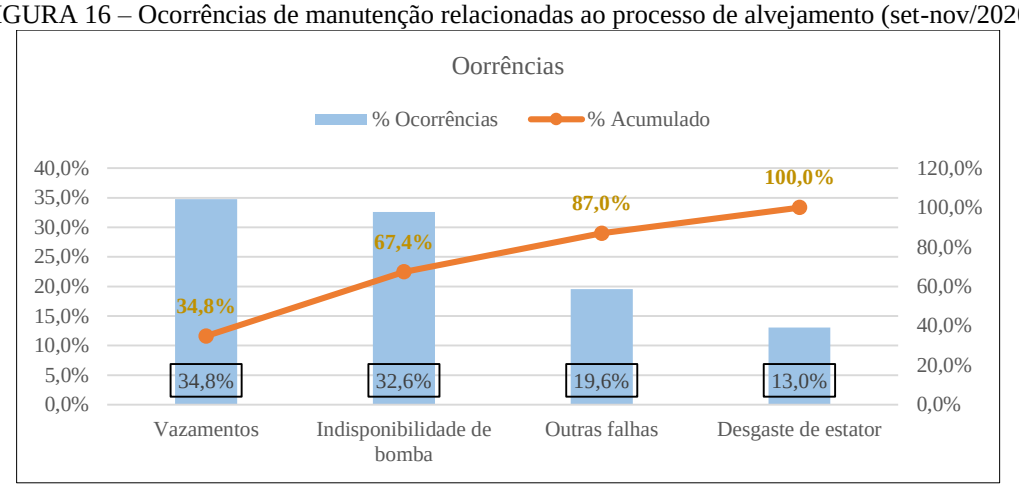
Fonte: Autora (2021).

Os atrasos no cronograma se deram causa da parada operacional da planta. Porém, nesse mesmo período, algumas ações corretivas foram tomadas como, por exemplo, as substituições das linhas de ácido sulfúrico que apresentavam desgaste.

Ao acompanhar as reuniões diárias entre as equipes de operação e manutenção, os temas relacionados ao alvejamento eram recorrentes: vazamentos, quebras e outras falhas. Comparada às outras áreas, o alvejamento requer atenção e é um processo gargalo que pode parar a produção, dependendo da gravidade.

Foram levantados dados de três meses de registros, ilustrados na Figura 16:

FIGURA 16 – Ocorrências de manutenção relacionadas ao processo de alvejamento (set-nov/2020)



Fonte: Autora (2021)

As ocorrências são quantificadas em vezes que aparecem nas demandas.

Dos 34,8% de ocorrência de vazamentos, 75% estão relacionados às bombas e linhas de ácido sulfúrico. Isso ocorre, entre outros motivos, porque na modificação do processo, as linhas já existiam (Fase 1) e foram readequadas para novo uso. Entretanto, nem todo o circuito foi substituído. Algumas partes foram reparadas e, consequentemente, com o uso, apresentaram desgaste precoce.

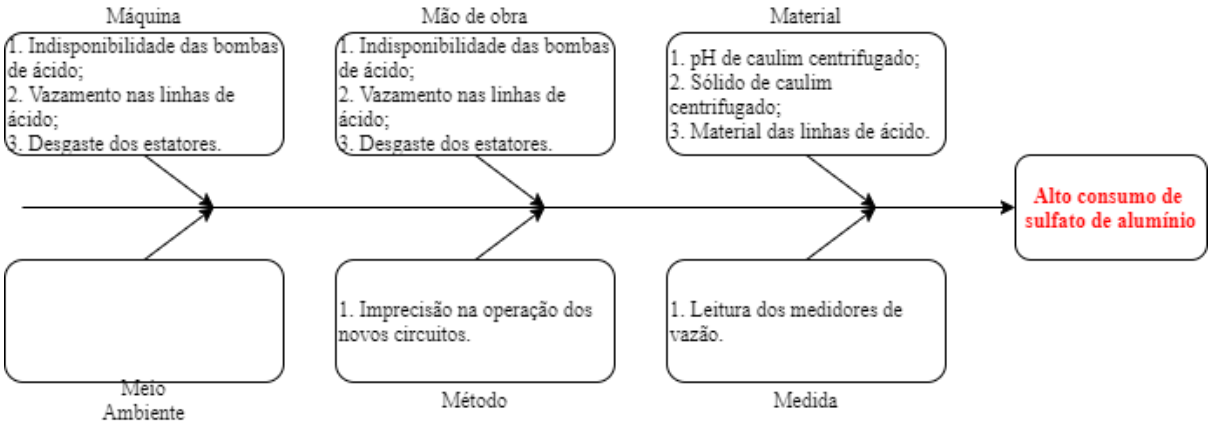
Para definir os pontos de atenção do projeto, foram realizadas sessões de *brainstorming* estruturado com as equipes de operação e manutenção para entender como estes funcionários viam o processo de alvejamento, além de ter uma visão retroativa das operações, considerando que muitos deles estão na empresa há mais de dez anos. Estas são as pessoas mais importantes do processo, porque delas depende o andamento da produção, a identificação e mitigação dos problemas que possam surgir. Foram ouvidos, sobretudo, os funcionários que operam na área do alvejamento e os operadores da sala de controle.

As possibilidades levantadas estão listadas abaixo:

- Comunicação de falhas na área;
- Controle de processo;
- Desgaste de estatores;
- Falta de treinamento da modificação;
- Imprecisão na operação dos novos circuitos;
- Indisponibilidade das bombas de ácido;
- Medidores de vazão;
- pH de caulim centrifugado;
- Sólido de caulim centrifugado;
- Vazamento nas linhas de ácido.

Com base nos resultados do *brainstorming*, foi desenhado o diagrama de causa e efeito para filtrar as principais causas do problema, mostrado na Figura 17:

FIGURA 17 – Diagrama de causa e efeito



Fonte: Autora (2021)

Após o levantamento das causas e a exclusão daquelas relacionadas ao material, foi definida a priorização e plano de ação para solução dos problemas.

A estratégia inicial é focar na gestão das equipes, utilizar o mapeamento de causas e atacar aquelas que forem de menor complexidade de execução, porém com efeito sobre as outras causas levantadas, considerando seu impacto no processo e efetividade; fazer com que a comunicação entre os setores seja efetivo e reflita na resolução dos problemas. Empoderar pessoas, encorajando, adaptando o conhecimento e dando a elas o poder de decidir e implementar ao seu nível um certo número de ações, sem que necessariamente passe por um fluxo de hierarquia interna.

Na Figura 18 está a representação do plano de ação desenvolvido junto à equipe para atacar as causas dos problemas no alvejamento:

FIGURA 18 – Plano de ação para melhoria no alvejamento

What	Why	Where	When		Who	How	Status
O que será feito?	Por que será feito?	Onde será feito?	Quando será feito?		Por quem será feito?	Como será feito?	Como está a atividade?
			Início	Fim			
Revisão do procedimento de recebimento de reagentes	Inserção dos cicruitos de sulfato de alumínio líquido	DPR	set/20	set/20	José Messias	Modificando o procedimento existente e incluindo novas informações	Concluída
Revisão do procedimento de Alvejamento Químico	Inserção dos circuitos de ácido sulfúrico e refloculação	DPR	out/20	out/20	José Messias	Modificando o procedimento existente e incluindo novas informações	Concluída
Treinamento do procedimento de Recebimento de Reagentes	Dar ciência aos operadores e alinhar informações referentes ao recebimento de químicos	DPR	out/20	out/20	Ádyla Santos	Visitando as áreas, instruindo os operadores sobre o novo funcionamento e tirando as dúvidas que	Concluída
Treinamento do procedimento de Alvejamento Químico	Dar ciência aos operadores e alinhar a respeito do novo circuito de alvejamento	DPR	out/20	out/20	Ádyla Santos	Visitando as áreas, instruindo os operadores sobre o novo funcionamento e tirando as dúvidas que	Concluída
Planilha Diária de Ações de Manutenção	Dinamizar a comunicação das ações de manutenção necessárias e manter o histórico de ocorrências	DPR/DMN	set/20	nov/20	DPR/DMN	Supervisores de Produção e Manutenção devem incluir as informações das ocorrências e atualizar	Concluída
Priorização e acompanhamento das ações corretivas	Para se certificar de que as ações que impactam no funcionamento do alvejamento sejam priorizadas e	DPR	set/20	nov/20	DPR/DMN	Levantando dados relacionados à eficácia das ações de manutenção	Concluída
Follow-up com as equipes	Para que os operadores sejam autônomos em suas ações sem ferir a hierarquia da operação	DPR	set/20	jan/21	DPR	Treinamento e DDS periódicos, atualizando sobre a efetividade das ações	Concluída
Acompanhamento dos resultados	Para verificar a efetividade das ações e propor mudanças	DPR	fev/21	abr/21	DPR	Através do acompanhamento dos KPIs consolidados: kg/t e R$ previsto x real	Concluída

Fonte: Autora (2021).

6.2.2 ETAPA “D” – *DO*

A segunda etapa do ciclo PDCA consiste na execução das ações definidas no planejamento. No projeto em questão, as ações foram iniciadas na revisão dos procedimentos existentes. Como a Fase 3 do alvejamento foi iniciada em janeiro de 2020 e, logo depois, boa parte do corpo de funcionários foi designada para trabalhar em *home office* por causa da pandemia, os treinamentos e atividades em grupo foram suspensas. Esta não seria uma prerrogativa para justificar o mau funcionamento do processo, já que os funcionários tinham conhecimento da atividade.

No retorno à fábrica, o projeto foi “reiniciado”, as equipes foram comunicadas sobre o seu desenvolvimento e as revisões e treinamentos foram priorizados.

No mesmo período dos treinamentos, iniciou-se o mapeamento das demandas de manutenção, de forma diária, acompanhando os Supervisores de Produção, Manutenção Mecânica e Manutenção Elétrica nas reuniões e definição das prioridades. Constuma-se dizer que, em uma planta industrial, tudo se torna prioritário, pois a continuidade do processo é o foco. Entretanto, no caso do alvejamento, algumas ocorrências reincidiam nos mesmos pontos ou nas mesmas linhas.

Como todos estavam cientes de que se buscava melhorar o processo de alvejamento, reduzindo os consumos específicos dos químicos, o que era possível fazer, em termos de priorização, foi feito.

No período de parada operacional, as linhas de ácido sulfúrico que apresentavam mais vazamentos foram substituídas, pois esta é uma atividade que não pode ser executada durante a operação da área. Os sobressalentes necessários foram mapeados e colocados à disposição para reparo e troca e, sobretudo, o fluxo de comunicação entre as áreas foi modificado.

Anteriormente, o intervalo entre a comunicação da ocorrência e a ação corretiva variava entre um e dois dias, em casos de vazamentos nas linhas de ácido. Em caso de indisponibilidade de bombas, o intervalo aumentava para cinco dias. A questão da disponibilidade de bombas é mais delicada porque existe uma quantidade de sobressalentes, baseada no desgaste previsto pelo fabricante. Portanto, o foco foram as correções das linhas. Com a vazão garantida, a operação dos equipamentos não sofreria desgastes desnecessários ou imprevistos.

O acompanhamento das equipes foi uma atividade muito importante. Fazer com que supervisores e operadores compreendessem a dimensão e o impacto das suas responsabilidades, reforçando diariamente sobre a redução dos intervalos de comunicação-ação, mostrando que isto influenciaria no resultado e, consequentemente, no bom andamento das suas próprias atividades, foi um trabalho de persistência e flexibilidade. Afinal, precisávamos não só que eles

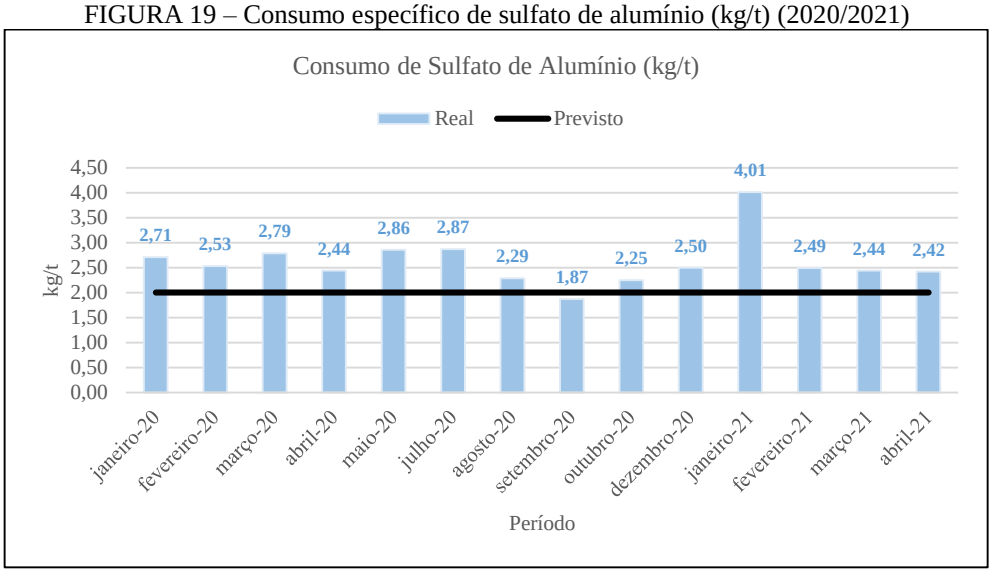
executassem a atividade com mais agilidade, mas que também fossem multiplicadores das boas práticas desenvolvidas ao longo desse processo.

6.2.3 ETAPA "C" – *CHECK*

A etapa de verificação tem como foco a comparação dos dados antes e após as intervenções.

Em relação ao consumo específico de sulfato de alumínio, houve redução, porém com resultados próximos dos valores anteriores ao projeto, como demonstra o gráfico da Figura 19:

FIGURA 19 – Consumo específico de sulfato de alumínio (kg/t) (2020/2021)



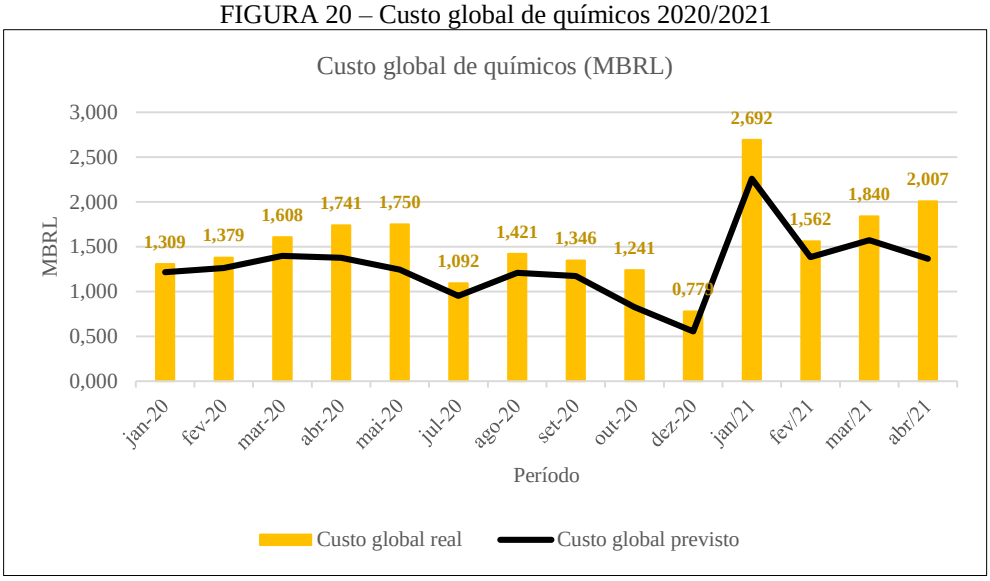
Fonte: Autora (2021).

O objetivo do projeto era reduzir em 2% o consumo específico de sulfato de alumínio o alvejamento, de 2,53 kg/t para 2,48 kg/t. Entretanto, a previsão de consumo permanece a de projeto, 2,0 kg/t.

Em relação ao consumo específico de ditionito de sódio, também houve redução: de 2,65 kg/t em 2020 para 2,05 kg/t no primeiro quadrimestre de 2021.

Quando olhamos para o consumo global de químicos, na Figura 20, ainda é possível notar que está acima do orçado. Porém, é preciso lembrar que os valores orçados são os valores de projeto, e não os valores previstos no projeto PDCA, portanto servem como referência de custos de produção, mas não devem ser utilizados isoladamente para análise da melhoria. Além disso, o custo do ditionito de sódio aumentou em 39% em relação a 2020 e o custo do sulfato de alumínio aumentou 21%.

FIGURA 20 – Custo global de químicos 2020/2021



Fonte: Autora (2021).

Houve um aumento no consumo e custos no mês de janeiro de 2021. A hipótese mais provável é que se refira à consolidação dos consumos de dezembro/2020 e janeiro/2021, por ocasião da parada operacional, que ocorreu de 15/11/2020 a 15/12/2020.

No curto prazo, não foram identificados efeitos secundários decorrentes das ações desenvolvidas que possam interferir no processo. É preciso aguardar para verificar esse tipo de ocorrência no médio e longo prazos.

Considerando que o foco da resolução do problema de alto consumo de sulfato de alumínio estava centrado na dosagem ineficiente de ácido sulfúrico e que, após a execução das ações corretivas, sua dosagem alcançou níveis próximos da meta, porém dentro do previsto, o bloqueio foi efetivo, ou seja, a solução foi efetiva.

6.2.4 ETAPA “A” – *ACT* – PROPOSTA DE CONTROLE

Seguindo a metodologia, a fase *act* consiste na elaboração dos padrões, alterações dos padrões existentes, caso tenham sido identificadas variáveis não previstas no início do projeto, comunicação das novas estruturações dos procedimentos e atividades. Os procedimentos que serviram de base tanto para os treinamentos, quanto para o desenvolvimento das ações de intervenção são, por si, padronizações do novo processo. Pois já nasceram da alteração de projeto do alvejamento.

Entretanto, faz-se necessário o acompanhamento dos consumos dos demais produtos químicos impactados por esta etapa: ditionito de sódio, poliacrilato de sódio e carbonato de sódio. Com o acompanhamento destes consumos, pode-se ter uma visão mais ampla sobre os

custos globais de químicos dentro e fora do alvejamento e, posteriormente, em todo o processo de beneficiamento do caulim.

7 CONCLUSÕES

O processamento mineral é um campo vasto para experimentações e aplicação de novas ideias e tecnologias. Também é uma indústria que sempre busca melhoria, seja nas operações, seja no fomento da cultura organizacional voltada para redução de custos e aumento de performance.

O presente estudo de caso aborda o beneficiamento de caulim, mais especificamente a etapa de alvejamento químico que, por ter sofrido alterações de projeto ao longo do tempo, passou a ser ponto de atenção no que se refere à redução de custos e melhoria de processos.

O consumo de sulfato de alumínio no alvejamento tornou-se um ponto de incômodo, após a última modificação no processo (Fase 3) porque, diferente do esperado, ele não sofreu redução. A busca, portanto, era por soluções que não desencadeassem um projeto de investimento mas, sim, um projeto que envolvesse as áreas de produção e manutenção, com foco na melhoria contínua, utilizando as ferramentas fornecidas pela empresa. Com o objetivo de reduzir esse consumo, foi desenvolvido o projeto baseado na metodologia PDCA. Os dados utilizados na pesquisa foram coletados durante o ano de 2020 e 2021 e as atividades foram realizadas na empresa.

O plano de ação foi centrado no desenvolvimento das equipes, revisões procedimentais e ajuste dasd demandas corretivas da área de alvejamento químico, especialmente aquelas relacionadas às linhas de ácido sulfúrico. O consumo específico de ácido sulfúrico foi estabilizado, auxiliando no alcance do pH necessário para melhorar as condições de reação de alvejamento e coagulação da polpa de caulim.

O objetivo de reduzir em 2% o consumo médio do ano de 2020, de 2,53kg/t para 2,48 kg/t foi alcançado e, apesar de parecer um resultado tímido, é somente o início da busca pelo consumo específico de projeto: 2,0 kg/t e, consequentemente, do ajustes dos outros produtos químicos utilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Informe mineral 2º/2019**. Brasília, 2019. Disponível em < https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/informes/informe-mineral-2019-2o-semestre>. Acessado em 25 mai. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001**: Sistema de gestão da qualidade – requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia a dia**. 9 ed. Nova Lima: Falconi Editora, 2013.

CARVALHO, E. A.; MARCIANO NETO, A. Beneficiamento de caulim. In: **Jornada de Iniciação Científica, 1**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994. Disponível em <http://mineralis. cetem.gov.br/handle/cetem/1700>. Acesso em 05 dez, 2020.

CRISCUOLO, P. S. R. **Beneficiamento do caulim duro das bacias dos rios Capim e Jari através do processo de agregação seletiva**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, PPGEM, UFMG. Belo Horizonte, 2005.

DEMING, W.E. **Elementary Principles of the Statistical Control of Quality**. JUSE, 1950.

FEIGENBAUM, A. V. **Total Quality Control**, Harvard Business Review, November-December 1956, pp. 93-100.

GARVIN, D. A. **Competing on the Eight Dimensions of Quality**. Harvard Business Review, 1987.

IMAI, M. Kaizen: **The Key to Japan's Competitive Success**. New York: Random House, 1986. p. 60.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Produção mineral – 1º trimestre 2021**. Disponível em < https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/04/infografico-mineracao-em-numeros-1o-TRI2021-FINAL.pdf>. Acessado em 25 mai. 2021.

JURAN, J. M.; GODFREY, A.B. **Juran's Quality Handbook**. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 1998.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de Minérios**. 5 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

LUZ, A.B.; LINS, F. A. F. **Rochas e Minerais Industriais – Usos e Especificações**. Rio de Janeiro: CETEM, 2005.

MORAES, C. G. **Desenvolvimento de processo de zeólita A utilizando o caulim da Amazônia e aplicação na adsorção de Cu^{+2}**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia. PRODERNA, UFPA, 2014.

PEREIRA, R. C. B.; COSTA, L. S. N. **Alvejamento de caulim do Rio Capim**. In: Jornada de Iniciação Científica, 4. Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1996. Disponível em <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1584>. Acessado em 25 mai. 2021.

SHEWART, W. A. **Economic control of quality of manufactured product**. New York: McMillan and Co., 1931.

SHEWART, W. A.; DEMING, W. E. **Statistical method from the viewpoint of quality control**. Washington: The Graduate School, The Department of Agriculture 1939.

SILVA, F. A. N. G. da; *et al*. **Alvejamento químico de caulins brasileiros: efeito do potencial eletroquímico da polpa e do ajuste do pH**. Química Nova, v. 34, n. 2, 262-267. 2011.

SINDICATO DAS INDÚSTRIAS MINERAIS DO ESTADO DO PARÁ. **8º Anuário Mineral do Pará**. Belém, 2019.

TAYLOR, M.J.; McNICHOLAS, C.; NICOLAY, C. *et al*. **Systematic review of the application of the plan–do–study–act method to improve quality in healthcare**. BMJ Quality & Safety, 2014.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de Produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas**. 2012. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade**. 2. ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.