

MELHORIA NA AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE MISTURA: um estudo de caso para economia de energia elétrica em uma unidade petroquímica

IMPROVEMENT IN THE MIXING PROCESS'S AUTOMATION: a case study to save electrical energy in a petrochemical unit

Ivan Fusieger da Silva¹ Andres Eberhard Friedl Ackermann² Vinicius da Rosa Pepe³ 

Resumo: Com intuito de obter bons resultados em relação à concorrência, as empresas têm estimulado a competitividade nos diversos segmentos industriais, desenvolvendo formas de tornar suas operações e processos produtivos cada vez mais eficientes. Desta forma, este trabalho teve como objetivo reduzir os tempos de processo e o consumo de energia elétrica dos misturadores de aditivo e polímero. Foram utilizados fluxogramas para o mapeamento do processo de aditivação e a ferramenta 5W2H, para desenvolver um plano de ação eficiente na implementação das propostas de melhorias no sistema de automação dos misturadores de aditivo e polímero, reduzindo os tempos de operação dos equipamentos e gerando economia, tanto de energia elétrica quanto financeira. Nesse sentido, este trabalho apresenta um estudo de caso quantitativo e qualitativo, com natureza de pesquisa aplicada envolvendo um caso real, com interesses locais e com objetivos específicos. Após a implementação das melhorias, houve diminuição no tempo total de processo de cem minutos (1h40min), redução no tempo de utilização da água gelada de cento e setenta minutos (2h50min) e diminuição no tempo de operação dos agitadores de oitenta minutos (1h20min) gerando uma economia de R\$ 6.011,60 por dia com energia elétrica, que maximizada representa R\$ 2.194.234,00 por ano. Desta maneira, o trabalho contribuiu para a geração de resultados positivos no processo, permitindo ganhos de produtividade e redução de custos, com oportunidade de alcançar os mesmos resultados em outros sistemas automatizados assim como em outras unidades industriais.

Palavras-chave: Ferramentas da qualidade. Melhoria contínua. Melhoria de processos. Automação. Indústria petroquímica. Misturadores.

Abstract: In order to obtain good results in relation to the competition, companies have stimulated competitiveness in the various industrial segments, developing ways to make their operations and production processes more and more efficient. Thus, this work aimed to reduce process times and electrical energy consumption of additive and polymer mixers. Flowcharts were used for the mapping of the additive process and the 5W2H tool, to develop an efficient action plan in the

¹ Bacharel em Engenharia de Produção, Centro Universitário Ritter dos Reis (UNIRITTER), E mail: ivan.fusieger@gmail.com

² Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas pela UNISINOS. Professor do Centro Universitário Ritter dos Reis (UNIRITTER). E mail: andres.ackermann@ulife.com.br

³ Doutor em Engenharia Mecânica pela UFRGS. Professor do Centro Universitário Ritter dos Reis (UNIRITTER). Pesquisador no Complex Flow Systems Lab do Institute of Earth Sciences. E mail: vinicius.pepe@ulife.com.br

implementation of proposals for improvements in the mixer automation system, reducing equipment operating times and generating savings, both in terms of electrical energy and financial costs. In this sense, this work presents a quantitative and qualitative case study, with the nature of applied research involving a real case, with local interests and with specific objectives. After the implementation of the improvements, there was a decrease in the total process time of one hundred minutes (1h40min), a reduction in the use of iced water of one hundred and seventy minutes (2h50min) and a decrease in the operation time of the agitators of eighty minutes (1h20min) generating savings of R\$ 6,011.60 per day with electricity, which maximized represents R\$ 2,194,234.00 per year. In this way, the work contributed to the generation of positive results in the process, allowing for gains in productivity and cost reduction, with the opportunity to achieve the same results in other automated systems as well as in other industrial units.

Keywords: Quality tools. Continuous improvement. Processes improvement. Automation. Petrochemical industry. Mixers.

1 INTRODUÇÃO

A indústria química é considerada estratégica, pois seus produtos estão presentes em diversos segmentos como na agricultura, mineração, transportes, saúde, tecnologia e siderúrgica, evidenciando a sua importância frente à economia brasileira (BOAVENTURA, 2018). Entre 2012 e 2016, a indústria química movimentou em média 350 bilhões de reais apenas no Brasil. Tais números fazem com que essa indústria sozinha, corresponda à cerca de 2,4% do PIB brasileiro (ABIQUIM, 2017).

A indústria petroquímica é o ramo da indústria química responsável pela transformação de hidrocarbonetos em bens de consumo e bens industriais (TESSAROLLI, 2019). Com o dinamismo imposto pelo processo petroquímico, qualquer ganho operacional possível é de grande valia. Pequenos ajustes somados nos sistemas de monitoramento e controle industrial agregam valor e confiabilidade, traduzido em vantagem competitiva no mercado mundial de polipropileno (RIBEIRO; SCRAMIM, 2020).

Desta forma, motivado pelos desafios diários na produção de plástico e ancorado pelos princípios da produção enxuta, foi identificada a possibilidade de melhoria na lógica de automação dos misturadores de aditivo e polímero de uma unidade petroquímica (DOS SANTOS, 2021). O sistema é composto por dois misturadores que trabalham em paralelo e atuam por batelada. Nestes equipamentos há a possibilidade de melhoria nos tempos de operação assim como a isenção de responsabilidade do operador em algumas manobras, obtendo ganhos operacionais e financeiros (ARAUJO, 2018).

O presente trabalho visa realizar primeiramente o mapeamento do processo de aditivação para posteriormente implantar a melhoria na lógica de automação dos misturadores. Propõe também a elaboração de um plano de ação a fim de obter rendimento e confiabilidade, garantindo a redução dos tempos de processo e do consumo de energia elétrica de uma unidade petroquímica produtora de polipropileno.

2 DESENVOLVIMENTO

Agitadores industriais são equipamentos amplamente utilizados nas indústrias química, farmacêutica, siderúrgica e de mineração. Têm aplicações em diversos processos e possuem a finalidade de agitar, homogeneizar, dissolver ou misturar qualquer tipo de solução, que pode ter ou não a presença de componentes sólidos (DAM, 2018).

Com o principal objetivo de cumprir, de forma bem-sucedida, as operações de processo com base nos requisitos a que foram propostos, os misturadores surgem em diversas formas e tamanhos. A diversidade existente dificulta a garantia de uma solução viável para uma determinada aplicação e requer, por isso, conhecimentos especializados e experiência nos vários setores da indústria (ÁLVARES, 2019). Para Almeida (2017) a mistura é uma das operações mais relevantes na Engenharia Química, que afeta crucialmente a transferência de massa e calor, o desempenho da reação e a qualidade do produto final. Os misturadores geralmente trabalham tendo tanques ou vasos como recipiente, onde há a entrada de duas ou mais substâncias separadas, podendo ocorrer de forma contínua ou em batelada (DIAS, 2018).

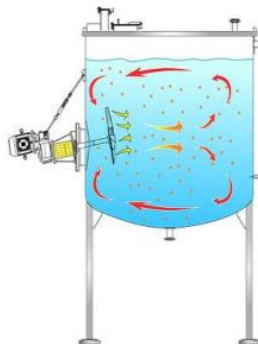
Conforme a Figura 1, Dam (2018) define os misturadores convencionais como tanques ou vasos, normalmente de formato cilíndrico, podendo ter um eixo vertical ou horizontal e possuir impelidores que, ao girarem, provocam a mistura do produto conforme o objetivo pretendido.

Todo tanque agitado contém um ou mais impelidores, cuja principal função é o de provocar a movimentação do fluido, ou seja, proporcionar a agitação e mistura desejada. Os impelidores são classificados de diversas maneiras, destacando-se pela geometria apresentada e o tipo de padrão de fluxo (CREMASCO, 2018).

Ainda que não existam características absolutas para os diversos tipos de misturadores, considera-se necessário fazer uma referência às terminologias mais comuns dos diferentes impelidores e suas capacidades técnicas. Podemos

citar como principais os do tipo turbina aberta, pás radiais, ancora, ribbon e hélice naval (DIAS, 2018).

Figura 1 - Misturador convencional



Fonte: Adaptado de Dam, 2018.

Qualidade é um termo que pode ser aplicado em vários cenários, principalmente dentro de uma empresa ou organização. Seu conceito básico pode ser dito sintetizado como a união entre a redução nos custos, o aumento da capacidade e a satisfação do cliente (GAYER, 2020). A era da Gestão da Qualidade Total teve início em 1970. Nas décadas seguintes as empresas começaram a adaptar seus processos com o intuito de alcançar um nível maior de qualidade, foi quando o conceito aprimorou as ferramentas já conhecidas e permitiu que as indústrias se destacassem no mercado, tornando-as mais competitivas (SLACK et al., 2015).

O principal objetivo da gestão da qualidade passou a ser a gestão dos processos, iniciando no fornecedor primário e seguindo até o cliente final, fazendo com que a filosofia fosse inserida nos escopos de projetos e desenvolvimento do produto, estendendo-se para todas as etapas de produção (ESTEVES et al., 2020). O conceito de qualidade evoluiu ao longo dos anos e atualmente se tornou um importante fator de mercado, dado pela elevada exigência dos clientes que buscam por segurança e padronização nas técnicas e processos (JUNIOR et al., 2020). Butzge et al. (2018) afirmam que para manter-se no mercado, é fundamental que a organização adote um sistema de

gestão da qualidade, uma vez que este permite manter o padrão em relação aos produtos e serviços oferecidos e, conseqüentemente, conquistar o cliente.

Para Guinzelli et al. (2017), no cenário competitivo atual é cada vez mais necessário a implantação de sistemas de gestão da qualidade e da utilização de suas ferramentas, que proporcionam identificar e promover ações corretivas para solução dos problemas. De Mello et al. (2017) corroboram que as ferramentas da qualidade são uma das metodologias mais utilizadas nas organizações para busca e resolução de problemas, uma vez que, são acessíveis com baixo nível de complexidade e efetivas para conclusão do objetivo.

As ferramentas da qualidade pertinentes nesse trabalho são o fluxograma e a ferramenta 5W2H. Segundo Horn (2015) o fluxograma é um método que demonstra graficamente a utilização de símbolos, representando de forma mais clara, todo um processo produtivo, além de avaliar a realidade atual de uma empresa. Já a ferramenta 5W2H foi criada por profissionais da indústria automobilística japonesa e, atualmente, é considerada uma das principais ferramentas para a elaboração de planos de ação, pois busca de forma clara o entendimento dos métodos, responsabilidades, objetivos e prazos (GOMES, 2020). O fluxograma foi utilizado para o mapeamento do processo de aditivção de polímero enquanto o 5W2H como plano de ação para implantação das melhorias na lógica de automatismo dos misturadores.

Conforme as definições de Ribeiro (2020), que conceitua processos como etapas necessárias de procedimentos, que fazem a transformação de um determinado insumo em um produto. Esse produto pode ser um produto final, um componente de um produto final, uma matéria-prima a ser transformada ou um serviço qualquer. Para Albertin e Pontes (2016) processo é um conjunto de tarefas dentro do âmbito empresarial, desempenhado por pessoas ou equipamentos, com a finalidade de entregar um produto ou serviço. Tal afirmativa evidencia que a compreensão sobre o assunto referido é de grande relevância para aplicação da pesquisa. Perlingeiro (2018), complementa o conceito enfatizando os aspectos do processo industrial que são:

sequenciamento das etapas ou atividades, transformação de entradas e insumos, agregação de valor e geração de produto final.

Seguindo o pensamento de Albertin e Pontes (2016), que enfatizam que as atividades na hierarquia do processo são ações mais específicas, de menor complexidade e com objetivo determinado. Os processos e sua hierarquia são destacados da seguinte forma: macroprocesso, processo, subprocesso, atividade e tarefa.

O macroprocesso é entendido como um processo cujas operações impactam na maneira como as organizações funcionam, normalmente envolvendo mais de uma função organizacional. Reúne os grandes conjuntos de atividades para gerar valor (RIBEIRO, 2020). O processo equivale a um grupo de tarefas interligadas diretamente, que usam de recursos da organização para criar resultados. São operações complexas com um objetivo organizacional específico (ALBERTIN; PONTES, 2016).

O subprocesso corresponde a um processo inserido em outro processo, ou seja, um conjunto de operações complexas que realiza um objetivo específico em apoio a outro processo. Permite observar os fluxos de trabalho e as atividades necessárias para uma execução (RIBEIRO, 2020). A atividade é entendida como um conjunto de operações de média complexidade que ocorre dentro de um processo ou subprocesso (ALBERTIN; PONTES, 2016). A tarefa por sua vez, é definida em níveis mais detalhados de atividades, onde um conjunto de tarefas a serem exercidas envolve rotina e prazos determinados (RIBEIRO, 2020).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho caracterizado como um estudo de caso, onde sua principal característica é a execução de uma análise detalhada do processo de aditivação de polímero. Através do mapeamento de processo e das ferramentas da qualidade, busca propor otimizações na lógica de automatismo dos misturadores e por consequência a redução dos tempos de processo e de consumo de energia elétrica (YIN, 2015). Quanto à natureza desta pesquisa, é definida como

aplicada, pois se trata de uma aplicação prática envolvendo um caso real com interesses locais e com o objetivo de atribuir conhecimentos (GERHARDT; SILVEIRA, 2009; MIGUEL et al. 2018). Tem como finalidade contextualizar o processo de aditivação dentro da planta petroquímica, ao longo de quatro etapas de desenvolvimento do estudo, foi dado enfoque no funcionamento dos misturadores de aditivo e polímero.

Na primeira etapa, de referencial teórico, foi realizada uma pesquisa bibliográfica utilizando livros e artigos visando à melhor compreensão dos métodos e das ferramentas utilizadas, referentes ao tema e ao problema de pesquisa. A etapa dois, de mapeamento do processo, ocorreu na área operacional e no painel de controle, através da observação do procedimento de aditivação de polímero e da medição dos tempos de cada operação. Utilizando o fluxograma como ferramenta foi possível obter uma visão macro do processo, observando a sequência de ações que o automatismo dos misturadores executa. Com a análise da sequência dos passos foram propostas melhorias no automatismo, a fim de reduzir a utilização de água gelada, os tempos de operabilidade e o consumo de energia elétrica. A etapa três foi de aplicação do plano de ação, onde foi desenvolvido um plano 5W2H para a implantação das melhorias propostas, ficando a critério da empresa a utilização do mesmo. Após a implantação das otimizações, como quarta e última etapa deste artigo, foi realizado um novo mapeamento do processo, com intuito de auxiliar na avaliação dos resultados e constatar os ganhos obtidos.

4 ESTUDO DE CASO

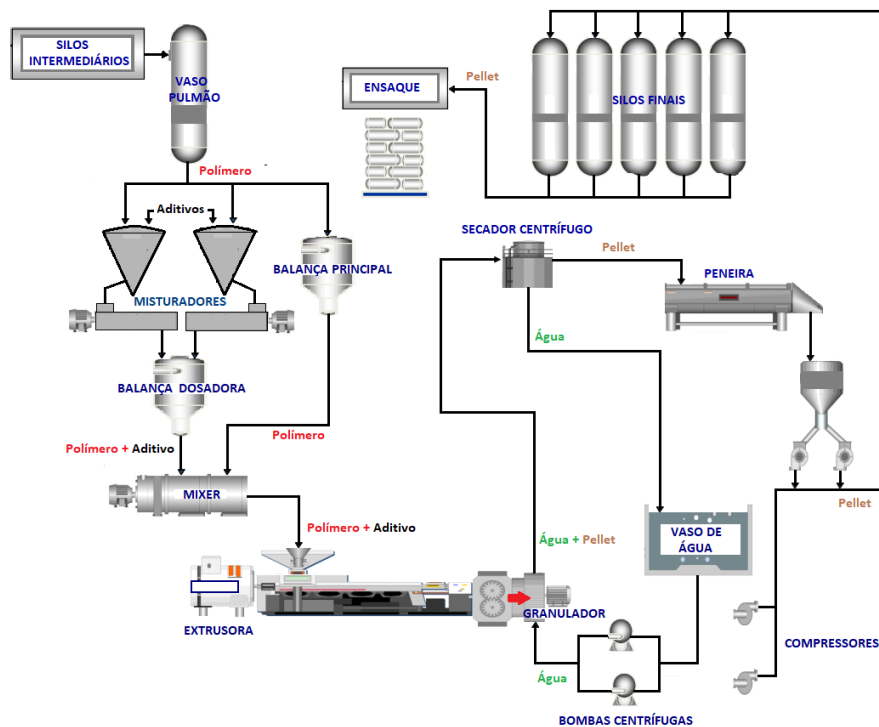
A empresa petroquímica deste estudo é uma empresa brasileira, produtora de resinas termoplásticas, constituída em 2002, a partir da integração de seis empresas relevantes no referido mercado e com forte participação de uma estatal petrolífera do país. Com quarenta unidades industriais em quatro países, é a maior de seu segmento nas Américas e a maior produtora de polipropileno dos Estados Unidos. O estudo de caso foi realizado em uma unidade da empresa localizada no Rio Grande do Sul, inaugurada na década de 1990. Atualmente essa planta industrial tem a capacidade de produzir mais de

vinte toneladas de polipropileno por hora, sendo uma referência na produção de especialidades: homopolímeros, copolímeros randômicos, copolímeros heterofásicos e terpolímeros.

A planta industrial onde ocorreu o estudo de caso objeto de estudo, produz polipropileno e opera com uma tecnologia licenciada, que utiliza como matéria-prima base o propeno (C_3H_6), um hidrocarboneto olefínico obtido através do craqueamento da nafta petroquímica. O processo inicia com a formação do polímero na área da reação, pois é nela que os monômeros reagem e formam as esferas de polipropileno. Após a polimerização, as esferas passam pela área de dosagem, responsável por separar o gás do polímero e recuperar os traços restantes de hidrocarbonetos, ou seja, que não reagiram dentro do processo.

O produto é alocado momentaneamente em silos intermediários, utilizados para segregação de produtos de transição e produtos fora de especificação. Dos silos intermediários o polímero é direcionado para o processo de aditivação e extrusão, local onde este estudo foi realizado, ilustrado pela Figura 2.

Figura 2 - Processo de aditivação e extrusão.

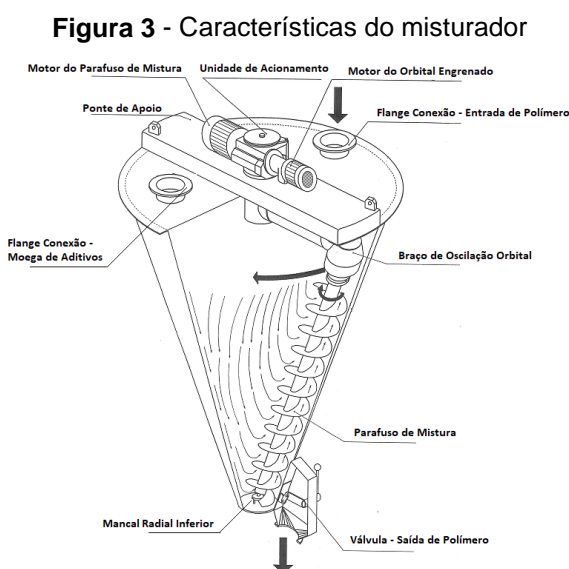


Fonte: Elaborada pelos autores

O processo de aditivação e extrusão começa pelo vaso de esferas pulmão que alimenta tanto a balança de carga principal quanto os misturadores de aditivo e polímero, também conhecidos como Nautas. Através das moegas localizadas no topo dos Nautas, são feitas as bateladas de aditivo nos misturadores, proporcionando as características específicas para cada tipo de produto. Os Nautas têm sua própria balança dosadora, utilizada para enviar a mistura ao mixer, que também recebe polímero da balança de carga principal. O mixer alimenta a extrusora, onde as esferas de polímero são aquecidas e fundidas, passando por uma matriz com mil orifícios de saída. Na saída da matriz o produto encontra o conjunto de facas do granulador que em alta rotação realiza o corte do material fundido, que por sua vez é solidificado pelo contato com a água de transporte, formando assim os granulados de polipropileno chamados de pellets.

A água de transporte leva os pellets até o secador centrífugo, que depois é transportado para peneira onde é separado o produto padrão do fora de especificação. O granulado peneirado é transportado via ar comprimido aos silos finais. Os silos finais são utilizados para homogeneizar os pellets e segregar os lotes antes de enviá-los ao ensaque.

A Figura 3, mostra as características dos misturadores utilizados neste estudo de caso.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Os dois misturadores têm a mesma configuração e foram desenvolvidos com intuito de atender aos requisitos específicos do processo que está inserido, ou seja, misturar o polímero aos aditivos e limpar a superfície interna do vaso. Para isso, dispõem de um formato cônico vertical e possuem um parafuso helicoidal inclinado, suportado por um mancal radial que permite a rotação e o movimento orbital do misturador. Com a ajuda da unidade de acionamento, o helicoidal opera rente a parede do cone com a finalidade de remover as incrustações, motivadas pelas características da aditivação. Seus acionadores são constituídos de dois motores/agitadores elétricos, equipados com redutores e variador mecânico para operar o braço de oscilação orbital e o parafuso de mistura.

Cada Nauta possui duas entradas de topo. Uma entrada para o polímero alimentado via tubulação e uma entrada para os aditivos, alimentados via moega, local onde é realizada a batelada manual pelo auxiliar operacional. Na parte inferior do vaso encontra-se a válvula manual de saída da mistura, mantida constantemente na posição aberta. A operação dos Nautas acontece por batelada, enquanto um está em operação o outro está em preparação. Assim que o primeiro esvaziar o outro assume a operação de aditivação. A operação dos misturadores é dividida em 4 etapas, iniciando pelo carregamento de polímero, que chega aquecido do vaso pulmão (80°C). Na sequência o produto é resfriado pela água de processo até atingir uma temperatura menor que 40°C. Com o resfriamento concluído é realizada a batelada de aditivos, feita manualmente por um auxiliar operacional. O reconhecimento de conclusão da batelada se dá com o acionamento da botoeira de campo, informando ao sistema lógico de automatismo que o referido misturador está pronto para entrar em operação.

Para a ativação das etapas citadas, com exceção do reconhecimento de conclusão da batelada, são utilizadas chaves configuradas no painel de controle do Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD). Dispondo de várias telas automatizadas é possível controlar as variáveis de processo e acompanhar as execuções do automatismo pelos alarmes configurados. Pelo SDCD é possível

verificar a disposição dos equipamentos, o status de operação dos motores, as variáveis de processo (peso, vazão, corrente, temperatura), o alinhamento das válvulas de controle, os alarmes operacionais configurados e inserir set-points para o controle de produção.

Os misturadores estão apoiados em células de carga que medem e indicam seus pesos, sendo fundamentais para lógica de controle do sistema. Ao acionar a etapa de carregamento as válvulas de alimentação (HV-8200A ou HV-8200B) abrem, permitindo a entrada de polímero no vaso. Assim que o peso do Nauta atinge o valor ajustado no SDCD a válvula fecha concluindo a etapa.

Após as etapas de carregamento e resfriamento do polímero é feita a batelada de aditivos. A dosagem dessa mistura (polímero e aditivos) no processo é realizada com auxílio das roscas transportadoras e da balança dosadora. O misturador que dosa o processo permanece com a válvula de fundo (HV-8203A ou HV-8203B) aberta e a mistura (polímero e aditivos) alinhada para sua respectiva rosca. A balança dosadora, responsável por encaminhar o produto para frente, trabalha por refil. Assim que o seu peso atinge o valor mínimo configurado, a rosca transportadora entra em operação, levando o produto do fundo do Nauta até a dosadora. Ao atingir o valor máximo de refil configurado na balança a rosca cessa o transporte, aguardando nova solicitação de carregamento. A sequência citada segue até o esvaziamento do misturador, sugerido pela indicação do próprio peso igual a zero e tempo de execução do refil da balança maior que dez segundos. Ao atender essas duas condições ocorre a troca automática de alinhamento dos Nautas para o processo, contando que o misturador reserva esteja com a batelada reconhecida.

Os Nautas são revestidos por uma jaqueta, espaço anular para o escoamento de água gelada (RW), com a finalidade de reduzir a temperatura do polímero, proporcionando melhor aderência aos aditivos. A utilização da água gelada tem extrema importância dentro dos processos na produção de polipropileno, sendo considerado um dos motivos para implantação da melhoria. O uso dessa utilidade em tempo demasiado sobrecarrega a capacidade do sistema de refrigeração, em específico o compressor de propeno, fundamental no controle de temperatura do reator de pré-polimerização que gera calor

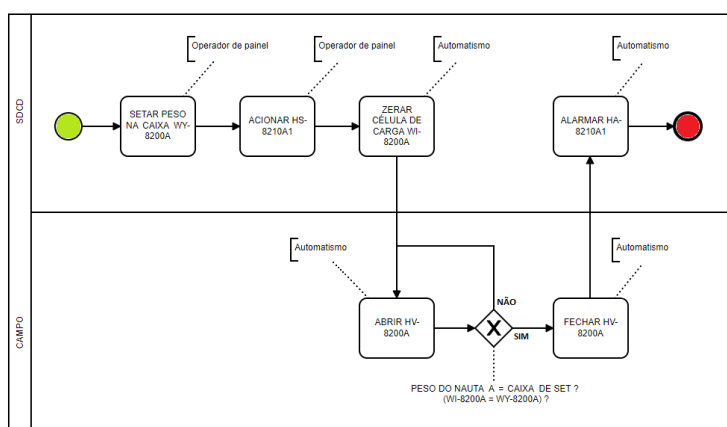
descomedido na formação inicial do polímero. Havendo a perda desse controle de temperatura é acionado automaticamente o intertravamento (*interlock*) de segurança. O acionamento do mesmo ocasiona parada da planta, tornando eficaz a avaliação de uma forma viável para economia de água gelada e alívio da capacidade do compressor de propeno.

Outro ponto importante é a utilização de grande volume de água gelada no processo de aditivação. A ocorrência de baixa temperatura nos misturadores por longos períodos favorece a formação de coágulos, que resulta na obstrução dos equipamentos a jusante, forçando a parada de produção por falta de aditivos. Ao analisar os problemas de processo, foi verificado que a técnica de observação seria a mais eficaz. De forma sistemática e baseada em critérios científicos, foi realizado o mapeamento das etapas de aditivação e suas medições de tempo, antes e depois da implementação da melhoria para posterior comparação.

Com a análise daquilo que será medido, avaliado e testado nos misturadores, ficam evidentes as variáveis dependentes do processo: o tempo da etapa de carregamento com polímero do misturador; o tempo da etapa de resfriamento do polímero e utilização da água gelada na jaqueta do misturador; o tempo da etapa inicial da batelada de aditivos; o tempo da etapa final da batelada de aditivos e operação dos motores/agitadores do misturador.

As Figuras 4 a 7 apresentam o mapeamento das etapas de aditivação. Foi considerado o procedimento em execução apenas no misturador A.

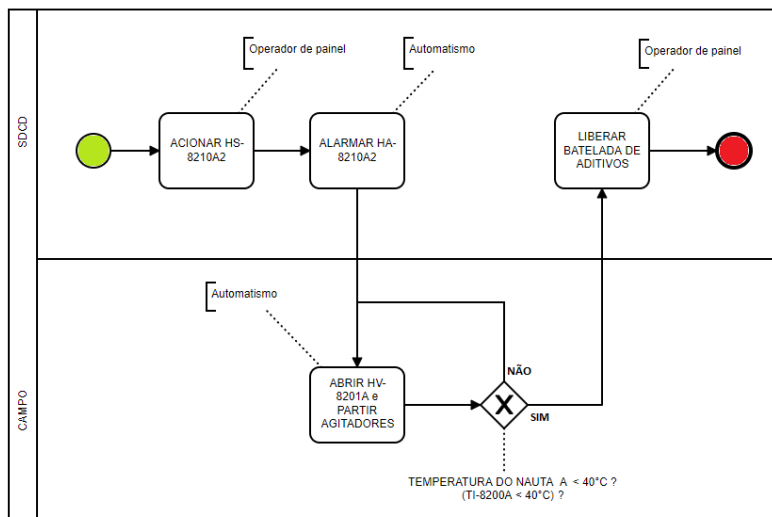
Figura 4 - Fluxograma da etapa de carregamento



Fonte: Elaborada pelos autores.

A primeira etapa inicia pela inserção do valor de carregamento desejado (em quilograma) na caixa WY-8200A pelo operador de painel. Ao acionar a chave HS-8210A a indicação de peso do misturador A é zerada e com isso a válvula de topo HV-8200A abre, realizando o enchimento do misturador com polímero. Quando o peso do misturador A, que foi registrado pela balança de fluxo WI-8200A, indicar o mesmo valor inserido na caixa WY-8200A, a lógica de automatismo entende que foi concluído o carregamento de polímero. Assim ocorre o fechamento da válvula de topo HV-8200A e atua o alarme HA-8210A1 no SDCD, alertando o operador de painel sobre a conclusão da etapa.

Figura 5 - Fluxograma da etapa de resfriamento

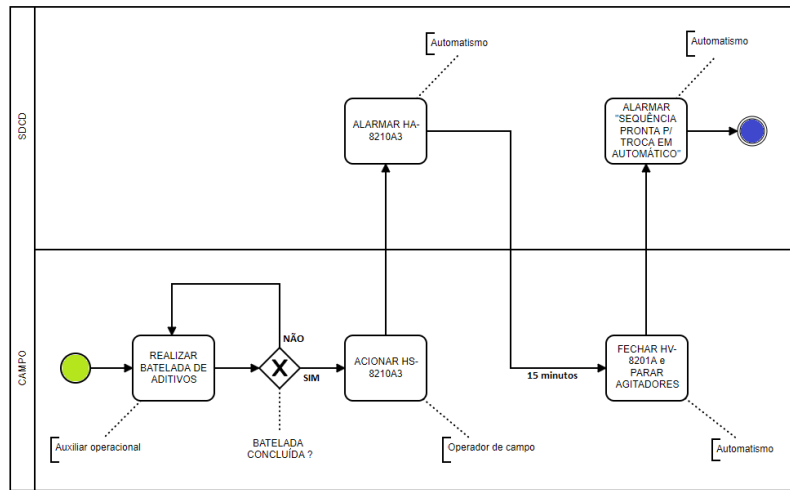


Fonte: Elaborada pelos autores.

A segunda etapa inicia quando a chave HS-8210A2 é acionada pelo operador de painel, atuando o alarme HA-8210A2 no SDCD e registrando o início do resfriamento de polímero. Com isso ocorre a alimentação de água gelada através da válvula HV-8201A para jaqueta do Nauta A, enquanto os motores/agitadores do misturador partem em paralelo. O operador de painel monitora a temperatura do polímero, registrado pelo TI-8200A no SDCD, até que a mesma indique temperatura abaixo de 40°C. Ao atingir a temperatura citada o

operador de painel libera a realização da batelada de aditivos, executada pelo auxiliar operacional, que está localizado no campo.

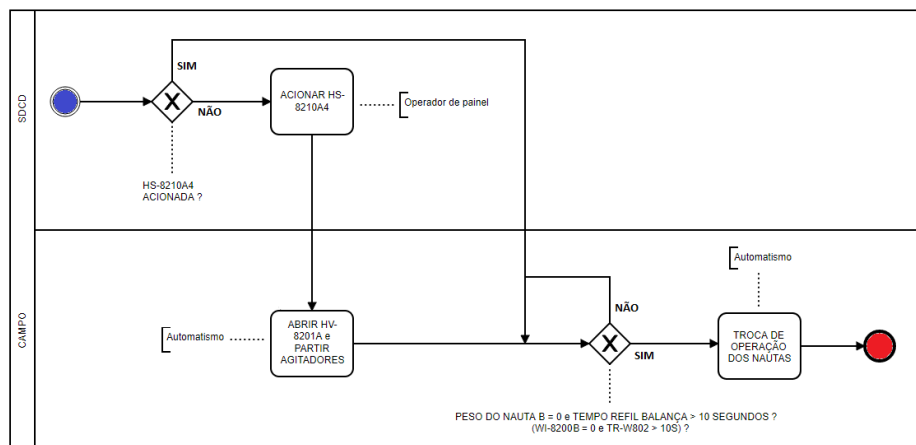
Figura 6 - Fluxograma da etapa inicial de batelada



Fonte: Elaborada pelos autores.

Ao concluir a batelada de aditivos o auxiliar operacional comunica o operador de campo, que por sua vez aciona a botoeira HS-8210A3 para o reconhecimento de conclusão da etapa, informando ao sistema lógico de automatismo que o misturador A está pronto para entrar em operação. O alarme HA-8210A3 atua no SDCD e após quinze minutos o automatismo fecha a válvula de água gelada HV-8201A e para os motores dos agitadores. A frase “sequência pronta para troca em automático” alarma no painel de controle, advertindo a condição do sistema.

Figura 7 - Fluxograma da etapa final de batelada



Fonte: Elaborada pelos autores.

Ao alarmar “sequência pronta para troca em automático” no SDCD o operador de painel deve acionar a chave HS-8210A4, utilizada para alimentar água gelada na jaqueta e acionar os motores/agitadores remotamente. Vale ressaltar que as condições recém citadas são obrigatórias para que ocorra a troca dos misturadores em automático. O esvaziamento do Nauta B (em dosagem) é reconhecido pelo automatismo através de duas condições: quando o peso do próprio misturador, registrado pela caixa WI-8200B for igual a zero e o tempo de refil da balança dosadora for maior que dez segundos. Ao perceber o esvaziamento do Nauta B, a lógica de automatismo faz a troca de alinhamentos dos misturadores instantaneamente, pondo o Nauta A a operar.

Com o mapeamento do processo foi possível estruturar as etapas de aditivação, facilitando as medições de tempo realizadas ao longo dos meses de setembro, outubro e novembro de 2020. Todos os registros foram realizados na aditivação do mesmo produto, escolhido por ter a maior quantidade de aditivos na receita, validando o pior cenário possível em questão de tempo de processo.

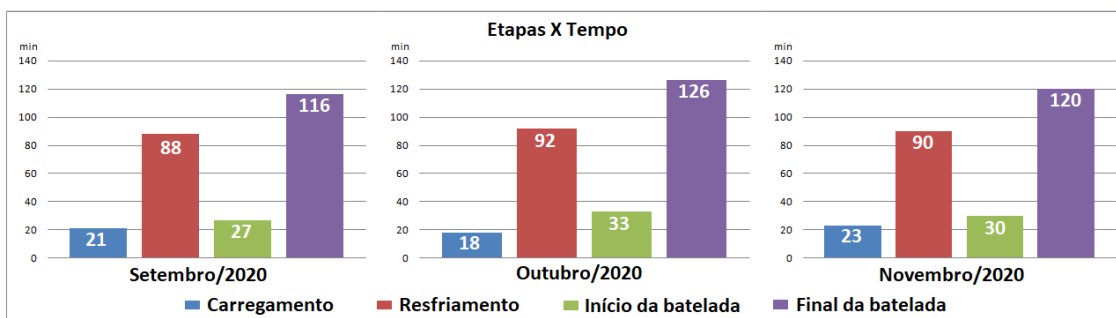
A Figura 8 apresenta valores médios para uma amostra de dez (10) eventos, realizadas a cada mês de avaliação, foram segregadas pelas etapas dentro do processo de aditivação. Ao analisar o primeiro passo é visto que o carregamento de polímero leva em torno de 20 minutos até sua conclusão e mesmo sendo um sistema automatizado apresenta variações, atribuído a fatores como o índice de fluidez do produto e umidade.

A etapa de resfriamento dura em média 90 minutos, porém, mesmo após a temperatura atingir valor abaixo de 40°C, a água gelada permanece alinhada para jaqueta. Fato este sem necessidade, pois a condição para realização da batelada de aditivos já foi atendida. De maneira semelhante, os motores/agitadores, uma vez partidos na etapa de resfriamento operam praticamente sem pausa, pois na parada após o reconhecimento da batelada, são repartidos instantaneamente pelo operador de painel na maioria das vezes.

A terceira etapa é realizada em uma média de 30 minutos e engloba desde a execução da batelada de aditivos pelo auxiliar operacional até o reconhecimento da mesma pelo operador de campo. O tempo de execução desta etapa depende tanto da agilidade do auxiliar quanto da disponibilidade do

operador. Na condição atual o operador de campo precisa deixar suas tarefas de lado e priorizar o reconhecimento da batelada, pois com carga máxima de 23 toneladas por hora restam em média 70 minutos para troca do misturador. Essa manobra exige a disciplina total dos envolvidos, caso contrário é necessário acionar a parada de produção devido à falta de aditivos.

Figura 8 – Avaliação das etapas e o tempo de processo antes das melhorias



Fonte: Elaborada pelos autores.

Embora a premissa da quarta etapa seja partir os motores/agitadores 70 minutos (1h10min) antes da troca de operação dos misturadores, os equipamentos citados têm trabalhado em torno de 120 minutos (2h), devido à atuação precoce da chave HS-8210A4 pelo operador de painel. A partir da análise dos tempos de processo foi visto que, ao operar com carga máxima de vinte e três toneladas por hora na extrusora, um misturador, capaz de aditivar cem toneladas de polímero, leva em torno de 270 minutos (4h20min) para ser consumido.

A soma dos tempos das etapas de processo também gira em torno de 270 minutos (4h20min), não restando tempo de folga entre o final da preparação do misturador e sua entrada em operação. Com a água gelada e os motores/agitadores operando desde a etapa de resfriamento, foi verificado que os mesmos trabalham por 240 minutos (4h) praticamente seguidos. A partir destas constatações foram propostas melhorias na lógica de automação dos Nautas, com a finalidade de reduzir os tempos de utilização da água gelada e dos motores/agitadores de cada misturador, apresentados na próxima seção juntamente com os cálculos do consumo de energia elétrica.

5 RESULTADOS

Com a utilização de fluxogramas e dos métodos para medição dos tempos, foi possível propor algumas melhorias na lógica de automatismo dos misturadores, principalmente em razão dos tempos ociosos dentro do processo. Com o auxílio da ferramenta 5W2H foi desenvolvido um plano de ações efetivo para implantação das otimizações, conforme o Quadro 1.

Quadro 1– Plano de ação 5W2H

5W					2H	
O que? (What)	Quando? (When)	Quem? (Who)	Onde? (Where)	Porque? (Why)	Como? (How)	Quanto? (How much)
Mapeamento das etapas de aditivação e medição dos tempos de processo	Até dia 30/11/2020	Operador de Produção	Área operacional e painel de controle	Avaliar e propor melhorias na lógica de automação dos Nautas	Elaborando fluxogramas e cronometrando os tempos de processo	R\$ 137,00
Implementação da melhoria 1	Até dia 31/12/2020	Engenheiro de Automação	CLP e SDCD	Reduzir tempo de utilização da água gelada e de operação dos agitadores dos Nautas	Reprogramando lógica no CLP e ajustando o SDCD	Sem custo
Implementação da melhoria 2	Até dia 31/12/2020	Engenheiro de Automação	CLP e SDCD	Reduzir tempos de processo e desgaste ergonômico do operador de produção	Reprogramando lógica no CLP e criando chave no SDCD	Sem custo
Teste das otimizações	Até dia 31/03/2021	Operador de Produção	Área operacional e painel de controle	Avaliar otimizações implementadas	Mapeando o processo e calculando o consumo de energia elétrica	Sem custo
Implementar nota GM	Até dia 15/04/2021	Engenheiro de Processos	Unidade	Informar todos os funcionários sobre as alterações do sistema	Descrevendo as mudanças em DO e enviando por e-mail	Sem custo

Fonte: Elaborado pelos autores.

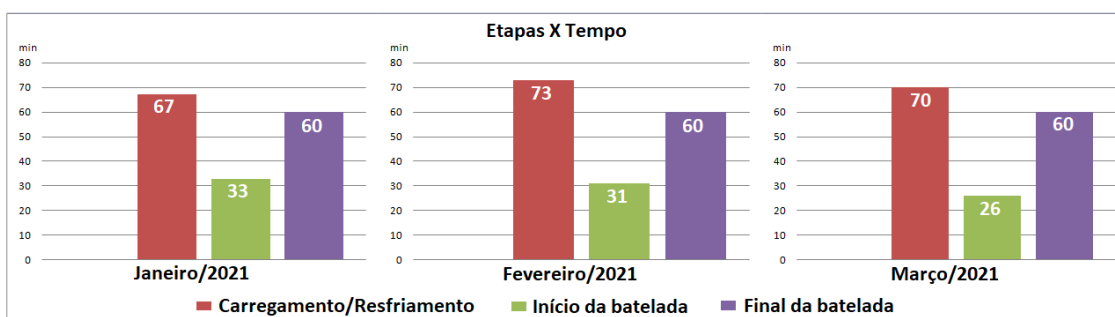
Foi visto que o resfriamento do polímero iniciava apenas após a etapa de carregamento concluída, levando em torno de vinte minutos, onde os mesmos se tornavam ociosos. A proposta de melhoria 1 é que as duas etapas ocorram em paralelo e que o automatismo bloqueie a água gelada assim que o polímero alcançar temperatura menor que 40°C. Com isso, enquanto o polímero é alimentado, a água gelada percorre a jaqueta do misturador, adiantando a

redução de temperatura do polímero e reduzindo o tempo de utilização da água. Esta melhoria proporciona maior confiabilidade operacional, sem depender de julgamento humano e caracteriza-se como um dispositivo a prova de erros.

Na proposta de melhoria 2, foi desenvolvida uma chave de reconhecimento da batelada no SDCD. Esta modificação do processo aumentou a velocidade da execução desse passo e exclui a necessidade de deslocamento do operador de campo até o terceiro pavimento do prédio da área de aditivação e extrusão para acionamento da botoeira. A criação da chave reduziu o desgaste ergonômico e eliminou a possibilidade da ocorrência de acidentes. Além disso, foi proposta a automatização de partida dos motores dos agitadores dos Nautas 70 minutos antes da entrada do misturador em operação, uma das premissas para troca do misturador em automático e de tornar a tarefa padronizada. Essa otimização retirou da responsabilidade do operador a execução da manobra, aumentando a confiabilidade operacional do sistema e reduzindo consideravelmente o tempo de funcionamento dos motores/agitadores, que por vezes era acionado precocemente ou inadvertidamente, além de trazer a padronização das atividades e etapas correspondentes.

Ao analisar as medições realizadas após a implementação das melhorias, ficou evidente a redução significativa nos tempos de operação do sistema. A Figura 9 apresenta valores médios para uma amostra de dez (10) eventos, realizadas nos meses após a implementação das melhorias propostas no plano de ação, demonstrando a melhoria efetiva das propostas sugeridas.

Figura 9 – Avaliação das etapas e tempo de processo após as melhorias de processo



Fonte: Elaborado pelos autores.

A implementação das melhorias possibilitou a redução do tempo de processo atingindo o objetivo proposto. A Tabela 1, apresenta as condições das variáveis mapeadas e a redução obtida nos tempos de processo por misturador, destacando a sua importância para o cálculo do retorno financeiro associado ao consumo de energia elétrica.

Tabela 1 – Resultados e ganhos nos tempos de processo

Tempos	Antes da melhoria (minutos)	Após a melhoria (minutos)	Redução no tempo de processo
Tempo total de processo	260	160	38,46%
Tempo de operação dos agitadores	240	160	33,33%
Tempo de utilização de água gelada	240	70	70,83%

Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir das análises apresentadas foi calculado o consumo de energia elétrica e constatado o ganho financeiro real com a implementação das melhorias. Assim, considera-se 365 dias, devido a não haver paradas de produção e operar em regime de 24 horas por dia, durante os 7 dias da semana. Entretanto, não é possível prever as paradas de planta, já que estas ocorrem por erro de manobra, descontrole operacional, falta de matérias-primas fornecidas por plantas adjacentes ou emergência. Sabe-se que um Nauta é consumido em 260 minutos (4h20min) e pode ter no máximo cinco bateladas consumidas por dia. O cálculo de consumo de energia elétrica e o seu custo anual antes das melhorias são demonstrados pelas equações 1 a 4.

$$TAOD = 240 \text{ min} \times 5 \text{ bateladas} = 1200 \text{ min ou } 20 \text{ h} \quad (1)$$

onde TAOD é tempo que os agitadores operam por dia

$$\text{Consumo diário} = 4,75 \text{ kW} \times 20 \text{ h} = 95 \text{ kWh} / \text{dia} \quad (2)$$

$$\text{Custo diário} = 190,00 \text{ R\$} / \text{kWh} \times 95 \text{ kWh} / \text{dia} = \text{R\$ } 18.050,00 \quad (3)$$

$$\text{Custo anual} = 18.050,00 \text{ R\$} / \text{dia} \times 365 \text{ dias} = \text{R\$ } 6.588.250,00 \quad (4)$$

Por meio da melhoria de processos dos agitadores, foi obtido um ganho pela redução de 80 minutos (1h20min) no tempo de operação dos motores dos agitadores a cada batelada. O detalhamento do consumo de energia elétrica e do custo anual obtidos com as melhorias implantadas estão contidos nas equações 5 a 8.

$$\text{TAOD} = 160 \text{ min} \cdot 5 \text{ bateladas} = 800 \text{ min ou } 13,33 \text{ h} \quad (5)$$

$$\text{Consumo diário} = 4,75 \text{ kW} \times 13,33 \text{ h} = 63,33 \text{ kWh / dia} \quad (6)$$

$$\text{Custo diário} = 190,00 \text{ R\$ / kWh} \times 63,33 \text{ kWh / dia} = \text{R\$ } 12.033,00 \quad (7)$$

$$\text{Custo anual} = 12.033,00 \text{ R\$ / dia} \times 365 \text{ dias} = \text{R\$ } 4.392.045,00 \quad (8)$$

A partir da implementação completa das melhorias, no período de um ano, serão economizados R\$ 2.194.234,00 ratificando a importância e eficácia deste estudo de caso.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho foi baseado nos conceitos do Sistema Toyota de Produção (STP), por meio da utilização de fluxogramas para o mapeamento de processos e na aplicação de um plano de ação através da ferramenta 5W2H para execução do projeto. Sua singularidade está na interferência direta da operação do processo de aditivação de polipropileno, exclusivo da tecnologia na qual a planta petroquímica está licenciada. O objetivo geral deste trabalho foi alcançado com sucesso através da união das etapas de carregamento e resfriamento do polímero, que reduziu o tempo de utilização da água gelada, do uso da capacidade do compressor de propano e as obstruções no processo. A criação da chave de reconhecimento da batelada no SDCD e a automatização da partida dos motores/agitadores de cada misturador reduziram o desgaste ergonômico de repetitividade e ritmo excessivo de trabalho do operador de campo, além do consumo de energia elétrica desconsiderando a redução do trabalho mecânico do compressor de propano, o que demonstra uma maior potencialidade de retorno e economia de energia elétrica.

Nesse contexto, a análise realizada durante o estudo de caso orienta para avaliação das perdas ligadas ao tempo ocioso dentro dos processos produtivos, podendo ser aplicado nos sistemas de ar de instrumento, de preparação da batelada de catalisador e de aditivação do polímero em todas as unidades detentoras da mesma tecnologia no mundo.

Avaliações semelhantes podem ser executadas em outros setores da economia como o automobilístico, farmacêutico e alimentício, devido ao alto nível de automação contida na operação dos seus processos.

REFERÊNCIAS

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. **Desempenho da Indústria Química**, 2017.

ALBERTIN, M. R.; PONTES, H. **Gestão de processos e técnicas de produção enxuta**. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2016.

ALMEIDA, F. J. P. **Análise de perfis de escoamento e de mistura num meso-reator de fluxo oscilatório para aplicação na indústria farmacêutica**. 2017. 73f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química – FEUP, Porto, Portugal, 2017.

ÁLVARES, T. V. **Estudo comparativo de esquemas de montagem de acionamentos de agitadores industriais**. 2019. 164f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – UNL, Lisboa, Portugal, 2019.

ARAUJO, W. R. de. **Operabilidade dinâmica aplicada a sistemas em batelada**. 2018. 90f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química – UFCG, Campina Grande, 2018.

BOAVENTURA, K. M. **Modelo para planejamento futuro aplicado a indústria petroquímica**. 2018. 353f. Tese de Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos – UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.

BUTZGE, C. *et al.* Aplicação de ferramentas da qualidade em publicações do ENEGEP entre os anos de 2012 e 2017: um estudo bibliométrico. **Enegep**, 2018. Disponível em https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_267_530_35799.pdf. Acesso em: 15 fev. 2021.

CREMASCO, M. A. **Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2018.

DAM, R. S. de F. **Estudo da técnica de rastreamento de partícula radioativa para avaliação de agitadores industriais utilizando redes neurais artificiais**. 2018. 71f. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia Nucleares – IEN, Rio de Janeiro, 2018.

DE MELLO, M. F. *et al.* A importância da utilização de ferramentas da qualidade como suporte para melhoria de processo em indústria metal-mecânica – um estudo de caso. **Exacta**, 2017. Disponível em <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81054651005>. Acesso em: 15 fev. 2021.

DIAS, E. F. **Estudo de otimização geométrica de pás de um reator CSTR em seu processo de agitação mecânica da mistura reacional**. 2018. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – UTFP, Ponta Grossa, 2018.

DOS SANTOS, C. G. MANUTENÇÃO PRODUTIVATOTAL: UMA REVISÃO DE LITERATURA DOS ARTIGOS DO ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão** (ISSN: 2525-4782), v. 6, n. 2, 2021.

ESTEVES, M. C. *et al.* Project management in industry 4.0: Technologies and skills supporting project managers. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão** (ISSN: 2525-4782), v. 5, n. 8, 2020.

GAYER, J. A. C. A. **Gestão da qualidade total e melhoria contínua de processos**. Curitiba: Contentus, 2020.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (Org.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre, 2009. Editora da UFRGS. Disponível em <https://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2021.

GOMES, D. **Plano de otimização do planejamento e controle de produção por fluxo logístico de materiais**: Pesquisa-ação em uma empresa brasileira do segmento automotivo. 2020. 74f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – UniRitter, Porto Alegre, 2020.

GUINZELLI, C. A. *et al.* Aplicação das ferramentas da qualidade. **Anais da Engenharia Mecânica**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 1-10, 2017. Disponível em <https://uceff.edu.br/anais/index.php/engmec/article/view/72/76>. Acesso em: 15 fev. 2021.

HORN, C. **Análise de processos logísticos na empresa Tritec Equipamentos Ltda**. 2015. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – Univates, Lajeado, 2015.

JUNIOR, M. P.; DE LIMA, A.; STOCO, W. H. Busca de Melhoria Contínua em Processo Produtivo: Aplicações das Ferramentas de Gestão da Qualidade. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 10621-10634, 2020.

MIGUEL, P. A. C. (Org.) *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

PERLINGEIRO, C. A. G. **Engenharia de processos**: análise, simulação, otimização e síntese de processos químicos. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2018.

RIBEIRO, C. **Gestão por processos e a integração estratégica**. Curitiba: Contentus, 2020.

RIBEIRO, M. G.; SCRAMIM, F. C. L. Indústria 4.0 e os sistemas de custeio: Um diagnóstico na indústria petroquímica. **X Simpósio de Iniciação Científica, Didática e de Ações Sociais da FEI**, 2020. Disponível em https://fei.edu.br/sites/artigos_sicfei_2020/083_SICFEI2020_ARTIGO.pdf. Acesso em: 12 abr. 2021.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

TESSAROLLI, F. G. C. Análise da indústria petroquímica brasileira utilizando o modelo das cinco forças de Porter. **Produção & Engenharia**, v. 9, n. 1, p. 712-727, 2019. Disponível em <https://periodicos.ufjf.br/index.php/producaoeeengenharia/article/view/28754/19659>. Acesso em: 03 mar. 2021.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.