

## MELHORIA DO PROCESSO DE COZIMENTO DE UM DIGESTOR UTILIZADO EM UMA INDÚSTRIA QUÍMICA DO ESTADO DE SÃO PAULO

Angeline Alves de Souza<sup>1</sup>  
Fabiana Cardoso Teixeira Coelho<sup>2</sup>  
Mayara Silva Magalhães<sup>3</sup>  
Sandra Helena da Silva de Santis<sup>4</sup>  
Samuel Fernandes Nunes<sup>5</sup>

**RESUMO:** O presente artigo apresenta um estudo de caso, referente à alteração em um dos processos de uma indústria química localizada no Estado de São Paulo, na qual implementou-se a mudança do posicionamento do manômetro e da linha da tomada de pressão com adição de um sifão trombeta em um vaso com pressão, com o intuito de eliminar a interferência de condensados na linha da tomada de pressão. Diante dessa alteração foram realizadas análises comparativas do cenário anterior e posterior a modificação. Portanto, esse estudo tem por objetivo avaliar a eficiência da mudança de posição do instrumento relacionada ao menor tempo de cozimento dos produtos. Para alcançar o objetivo desse artigo, foram utilizadas pesquisas bibliográficas em artigos científicos para abranger conhecimentos relacionados ao tema, análise qualitativa para concluir a eficácia da implementação da mudança e avaliações gráficas dos resultados obtidos. Em suma, constatou-se que houve melhora no tempo de aquecimento e constância na temperatura na etapa de fervura.

2071

**Palavras chaves:** Vasos com pressão. Instrumentos de medição. Controle de processo.

**ABSTRACT:** This article presents a case study, referring to the change in one of the processes of a chemical industry located in the State of São Paulo, in which a change in the positioning of the manometer and the pressure taking line was implemented with the addition of a trumpet siphon in a pressure vessel, in order to eliminate the interference of condensate in the pressure tap line. Given this change, comparative analyzes of the scenario before and after the modification were carried out. Therefore, this study aims to evaluate the efficiency of changing the position of the instrument related to the shorter cooking time of the products. To achieve the objective of this article, bibliographical research was used in scientific articles to cover knowledge related to the topic, qualitative analysis to conclude the effectiveness of implementing the change and graphic evaluations of the results obtained. In short, it was found that there was an improvement in heating time and constant temperature in the boiling stage.

**Keywords:** Pressure vessels. Measuring instruments. Process control.

<sup>1</sup>Tecnólogo em Gestão de Produção Industrial Fatec de Ferraz de Vasconcelos.

<sup>2</sup>Tecnólogo em Gestão de Produção Industrial Fatec de Ferraz de Vasconcelos.

<sup>3</sup>Tecnólogo em Gestão de Produção Industrial Fatec de Ferraz de Vasconcelos.

<sup>4</sup>Mestra em Ciência na área de Materiais e Processos pela USP, São Paulo Fatec Ferraz de Vasconcelos.

<sup>5</sup>Pós-graduado em Engenharia da Produção pela UNG, São Paulo Fatec Ferraz de Vasconcelos.

## I. INTRODUÇÃO

Manter-se competitivo no mercado, obtendo resultados positivos atrelado a boa saúde financeira, é um dos principais desafios encontrados pelas indústrias no Brasil. Dentre as diversas variáveis que as levam a um mal desempenho, uma delas está “dentro de casa”, na gestão de processos. Neste cenário, o objeto de estudo é uma indústria química do estado de São Paulo, na qual atua com especialidades químicas, que apresenta uma problemática relacionada a gestão de processos. A problemática em questão encontra-se na distância da linha da tomada de pressão, da instalação do manômetro em relação ao digestor utilizado e o porquê que o seu posicionamento interfere no processo de fervura com pressão.

Dentro do processo de fervura com pressão realizado em um digestor (vaso de cozimento com pressão) existem três fatores correlacionados, que são: tempo, temperatura e pressão. Os processos dentro do vaso com pressão ocorrem em sistema fechado e são necessários instrumentos para controlar alguns aspectos como: nível, temperatura e pressão.

De modo geral o objetivo do estudo é proporcionar uma visão mais detalhada, que confirma a eficiência da mudança de posição do manômetro e da instalação de um sifão trombeta em um digestor. Detalhar especificamente a análise dos resultados alcançados com apoio de gráficos comparativos, além de identificar as oportunidades e otimizar do processo fabril, mensurando melhorias nos tempos do processo.

Com o intuito de abordar os temas que deram suporte ao estudo, apresenta-se resumidamente a revisão bibliográfica dos principais elementos da gestão de processos e instrumentação, que no caso trata-se do manômetro e vaso de pressão, com foco principal nos que envolvem o processo de cozimento do digestor.

## 2. REFERENCIAL TEORICO

A respeito do contexto desse estudo, o controle de processos com a utilização dos instrumentos de medição não exime o processo de oportunidades de melhorias, dessa maneira como Fenner (2023, p 20) elucida a somatória de erros, não conformidades e satisfação dos clientes resultam no desempenho das empresas, tais aspectos são reflexos da maturidade da gestão de processos.

## 2.1 Gestão de Processos

Paim (2009, p.25) é enfático ao afirmar que “melhorar processos é uma ação básica para as organizações responderem as mudanças que ocorrem constantemente em seu meio ambiente de atuação e para manter o sistema produtivo competitivo”. Mediante a identificação de uma problemática no processo produtivo, esta necessidade se torna essencial e indispensável.

Dentre os benefícios da gestão de processos, pode-se extrair os principais citados por Paim (2009):

- Uniformização da forma de trabalho;
- Padronização de processos;
- Redução de tempo dos processos;
- Aumento da produtividade dos trabalhadores;
- Redução de defeitos.

Tais benefícios contribuem para melhoria de processo, a exemplo da uniformização da forma de trabalho/ padronização de processos, principal benefício na busca pela excelência operacional. Padronizar os processos, nada mais é que garantir que o fluxo de atividades e a maneira como são executadas seja igual, o que confirma Paranhos (2008, p.108) ao afirmar que “serve para termos certeza de que todos saibam o que fazer e como fazer todas as atividades relacionadas com a produção do produto durante o processo”.

A busca por maior produtividade e eficiência é constante dentro da indústria, segundo Costa Junior (2008) a possibilidade de alcançar este objetivo é concentrar-se sobre a mão-de-obra, com vistas a aprimorar as formas de trabalho. Esta colocação está totalmente atrelada a padronização de processos, que garante que a mão de obra siga o estabelecido para concluir a atividade com excelência.

De encontro ao aumento da produtividade, obtém-se a redução dos tempos, já que diante dos métodos padronizados das operações se avalia a capacidade produtiva, para identificar os pontos de melhorias no processo e conseqüentemente resultados no menor período e tempo (COSTA JUNIOR, 2008, p.74).

Borges (2020, p.1) reafirma que a falta de padronização causa grande perda de tempo nos processos e que com a padronização os tempos dedicados em cada etapa do processo são reduzidos, aumentando assim a produtividade. Tais afirmações são comprovadas ao longo do estudo apresentado, com o detalhamento dos resultados alcançados referentes aos tempos

de processos obtidos. O uso da gestão por processos proporciona a utilização de indicadores de desempenho para cada atividade, o que permite a avaliação e contínua melhoria das metas estabelecidas (KIPPER et al., 2011, p.98).

Quanto a redução de defeitos, Costa Junior (2008, p.63) apresenta a falta de confiabilidade nos equipamentos como uma das causas, visto que problemas com as máquinas e equipamentos levam gestores a produzirem mais que o necessário. Ao se conectar com a problemática em questão, observa-se o digestor e manômetro, como os equipamentos principais que impactam o processo de cozimento do digestor.

Pode se afirmar que redução de tempos, aumento de produtividade e redução de defeitos são consequências da unificação de forma de trabalho/padronização que permitem reduzir a variabilidade do processo. Na indústria em estudo, o processo de cozimento no vaso de pressão tem como variabilidade a temperatura, o tempo e a pressão que influenciam diretamente na especificação do produto.

## 2.2 Vasos de Pressão e NR 13

De acordo com Nicola e Vieira (2012, p.15) “o nome vaso de pressão intitula de forma geral todos os recipientes e tanques, com diversas dimensões, formatos ou finalidade, capazes de conter um fluido pressurizado”. Esses tipos de equipamentos são muito utilizados em indústrias químicas, farmacêuticas e alimentícias, com o intuito de modificar a viscosidade dos produtos.

Tratando-se de um equipamento com potencial catastrófico, devido a possibilidade da sua pressurização exceder a capacidade do vaso ocasionando uma explosão com perdas irreparáveis, principalmente relacionada a saúde e segurança dos colaboradores, se fez necessário a implementação da Norma Regulamentadora Nº 13 (NR-13), com o título atualizado “Caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de Armazenamento” empregada desde 8 de junho de 1978 (PORTARIA MTP nº 1.846, 2022).

O objetivo da Norma Regulamentadora Nº 13 é estabelecer as condições fundamentais para integridade da estrutura dos vasos de pressão, que diz respeito às inspeções, instalações, modo operante e manutenções para manter a segurança de todos os trabalhadores. A NR 13 também exige que os operadores sejam treinados para conhecimento do equipamento, de maneira que consigam detectar avarias e operarem de maneira segura (PORTARIA MTP nº 1.846, 2022).

As inspeções nos vasos com pressão são periódicas e realizadas por profissionais habilitados, os períodos são determinados pela classe em que os vasos pressurizados se enquadram, previstos na Norma (NR 13). Além disso, são utilizados medidores ultrassônicos, partículas magnéticas, testes hidrostáticos, entre outros meios de inspeções, sempre com o propósito de preservar a integridade do equipamento para prevenir acidentes (PORTARIA MTP nº 1.846, 2022).

Os processos dentro do vaso com pressão ocorrem em sistema fechado e são necessários instrumentos de controle para monitorar alguns aspectos como: nível, temperatura e pressão.

### 2.3 Instrumentos de Medição e Controle

Sendo uma grandeza física escalar, a Pressão faz a aferição da força exercida perpendicularmente em uma superfície. Na qual, foi citada por Fraden (2010; apud CIPRIANI, 2013), que o conceito de pressão teve como base o trabalho de Evangelista Torricelli, que provou através de experimentos com mercúrio que atmosfera exerce pressão sobre a terra. Anos mais tarde, Pascal observou que a altura da coluna de mercúrio se alterava de acordo com a altitude. Por fim, conceitualmente “a pressão é a relação entre a força normal exercida em uma superfície e a área desta superfície” Cipriani (2013) que se resume na expressão:  $P = F/A$ .

Fialho (2019, p.17) complementa o assunto com a definição de pressão manométrica:

“Chama-se pressão manométrica a diferença entre a pressão absoluta ou a real e a pressão atmosférica. [...] Os aparelhos utilizados para medir a pressão manométrica recebem o nome de manômetros e funcionam segundo os mesmos princípios em que se fundamentam os barômetros de mercúrio e os aneroides”.

A utilização do manômetro possibilita conhecer a pressão que envolve um fluido ou um gás armazenado dentro de um sistema fechado, FIALHO (2019). Como ocorre em vasos de pressão, onde a utilização do manômetro serve como forma de controle para acompanhamento da pressão, reafirma Jaques (2015). Sua função primordial é transformar a pressão aplicada em uma leitura numeral ou visual, o que possibilita que os operadores ou técnicos verifiquem se a pressão está dentro dos parâmetros de segurança exigidos.

Na indústria o manômetro de Bourdon é o principal medidor de pressão utilizado, ele consiste em um tubo oval e apresenta uma seção circular, com uma de suas extremidades fechada e outra aberta, quando no seu interior uma determinada pressão atua, movimentando-se com um efeito tipo mola, esse movimento é que indica uma medida de

pressão dentro de escala gradual. Esse tipo de medidor indica uma pressão absoluta, e são utilizados para indicar a pressão no interior de linhas pressurizadas e reservatórios (CIPRIANI, 2013).

O sifão de trombeta auxilia na precisão da medição, ele é utilizado para condensar a temperatura do processo ao instrumento, isso faz com que a temperatura diminua entre o fluido do processo ao manômetro protegendo-os de meios quentes, reduzindo os picos rápidos de pressão. Eles são utilizados para resfriar o fluido e assim preservar os instrumentos de medição, pois é acoplado no sensor e no processo, quando o fluido passa pela curvatura do tubo ele resfria consideravelmente impedindo a entrada de meios quente no manômetro.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente artigo possui como metodologia uma pesquisa bibliográfica, para compreender melhor os conceitos e aplicações do tema. Sendo que na pesquisa bibliográfica utiliza-se livros, artigos científicos, testes, dissertações que já foram publicados anteriormente para fundamentar o artigo em estudo (SOUZA; OLIVEIRA; ALVES, 2021).

Contém, também, como metodologia um estudo de caso, com avaliações qualitativa e quantitativas para mensurar se os resultados das mudanças aplicadas no vaso com pressão foram efetivos ou não. Segundo Michel (2005), para o tratamento dos dados coletados são utilizadas técnicas estatísticas, como: média, desvio padrão, percentuais, entre outros métodos.

Por fim, o estudo de caso é definido por Gerring (2019) como um estudo dedicado, com foco a um caso, fenômeno ocorrido dentro de um tempo determinado. O “caso” é considerado como formas de estado, organizações, grupos sociais ou eventos, ou seja, fenômenos que são avaliados pelos seus pesquisadores.

Gerring (2019), também pontua que o estudo de caso pode ser observacional ou experimental, sendo que observacional é mais casual, é um estudo superficial, pois existe uma quantidade grande de pesquisas relacionadas ao tema, enquanto o estudo experimental, carece de mais pesquisas sobre o assunto, exigindo que o pesquisador se aprofunde no estudo com experimentos/ testes. De modo geral, Gerring destaca que o estudo de caso é em sua maioria “uma forma observacional de análise”.

Neste contexto o artigo específico se enquadra na definição de Gerring, pois não foram realizados experimentos, todavia, a modificação do digestor foi um evento real e casual, na qual os resultados atingidos foram analisados de forma observacional.

## 2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado, o intuito de eliminar a linha do transmissor de pressão até o manômetro foi para cessar as interferências da formação de condensado nos controles de temperatura. A modificação do local do instrumento de medição ocorreu em março de 2023.

Um manômetro analógico foi conectado direto no digestor para servir de backup para operação e foi inserido um tubo sifão no transmissor de pressão, para direcionar o condensado para dentro do digestor, conforme destacado em vermelho da Figura 1.

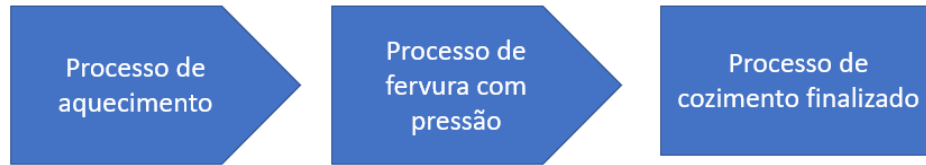
**Figura 1.** Vaso de pressão com adaptação do manômetro



Fonte: Adaptado Grabcad (2023)

Dentro dos processos realizados no digestor conforme apresentado na figura 2, as etapas em estudo são de aquecimento e fervura.

**Figura 2:** Etapas dos processos realizados no digestor.



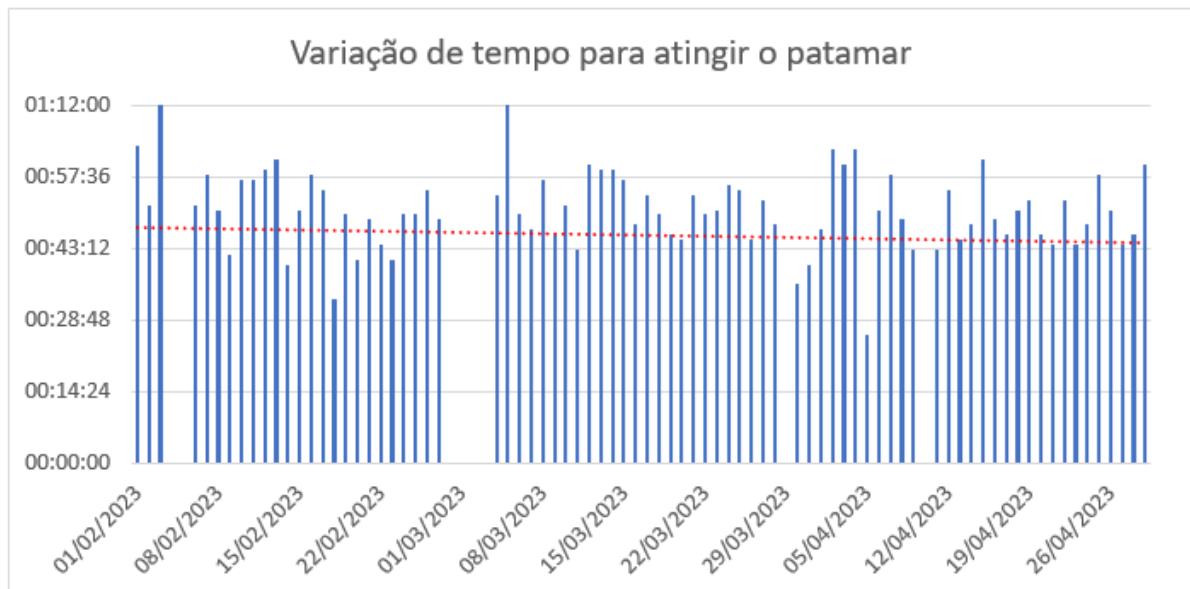
Fonte: AUTOR (2023)

- Processo de Aquecimento: ocorre a elevação inicial da temperatura e da pressão até atingir o patamar de 2,9kgf e 140°C.
- Processo de Fervura com Pressão: ocorre o cozimento do produto, e devem ser mantidos uma temperatura e pressão constante, ou próximas do patamar (2,9kgf e 140°C).

No dia 03/03/2023, ocorreu a alteração do local do manômetro, entretanto os registros utilizados para avaliação da eficiência do novo processo abrangem o período que antecede essa data, sendo assim contempla os dados a partir de 01/02/2023 a 30/04/2023.

O gráfico 1, abaixo, indica o histórico do tempo gasto em que um cozimento leva até atingir o patamar da pressão em 2,9kgf e a temperatura de 140°C.

**Gráfico 1.** Variação de tempo para atingir o patamar



Fonte: Autor (2023)

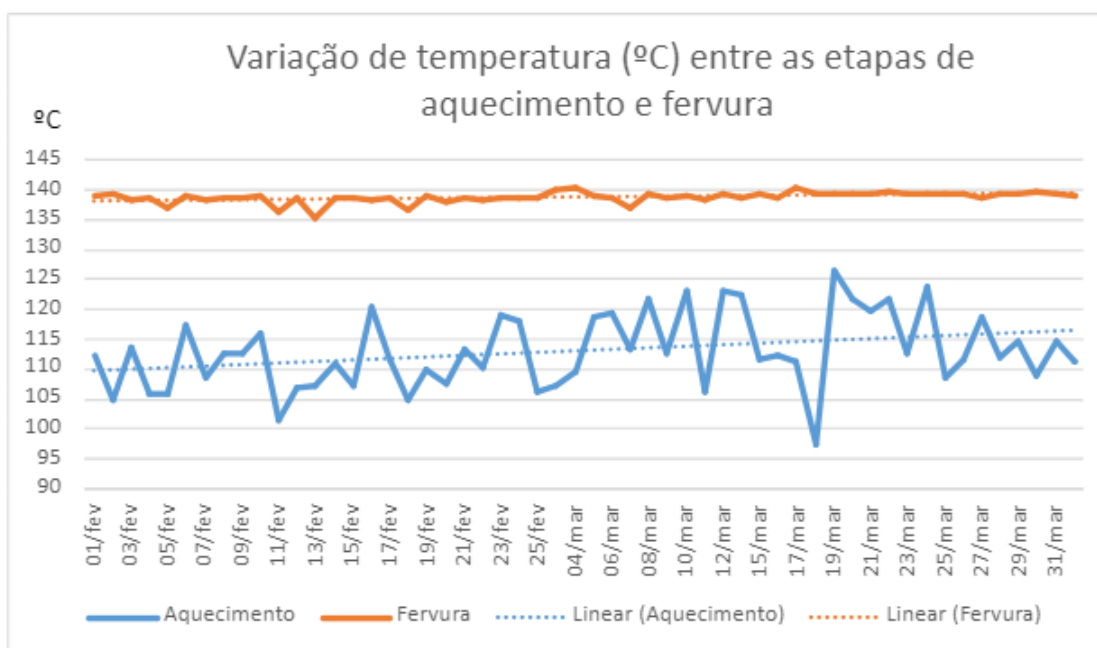
Em comparação aos cozimentos realizados em fevereiro de 2023 e março de 2023, excluindo os picos acima de 1h, nota-se no gráfico 1 pela linha de tendência (pontilhada em



vermelho) que após a modificação os patamares foram alcançados em menor tempo de processo, reduzidos em média 14 minutos.

O gráfico 2, abaixo, remete a comparação da temperatura encontrada nas etapas de Aquecimento e Fervura com pressão.

**Gráfico 2.** Variação da temperatura entre as etapas de aquecimento e fervura.

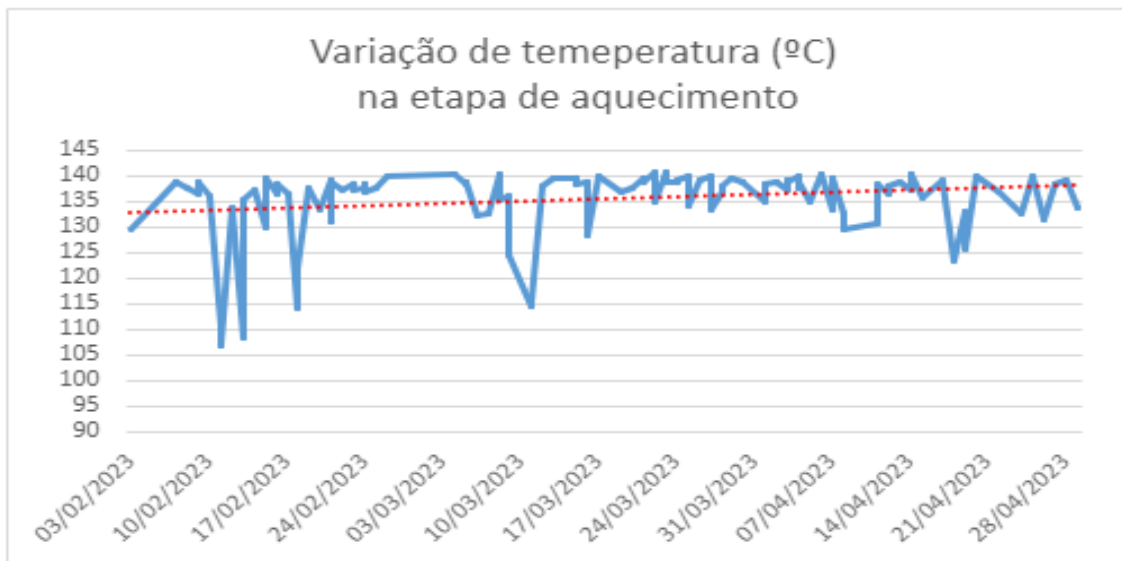


Fonte: Autor (2023)

É possível verificar o aumento da temperatura durante a ocorrência do processo de aquecimento no gráfico 2, destacado na linha azul contínua, assim como na linha pontilhada representando a análise de tendência, ou seja, saíram de uma média de 110°C para 115°C após a modificação do local do manômetro. Da mesma maneira ocorreu com o processo de fervura com pressão, representado no gráfico 2 com a linha contínua em laranja, na qual apresenta maior constância de temperatura em 140°C com menores oscilações e mais próximo do especificado para o processo de cozimento.

Com o intuito de compreender melhor o comportamento da temperatura durante a etapa de aquecimento até alcançar o patamar de pressão em 2,7kgf, foi elabora o gráfico 3, abaixo:

**Gráfico 3.** Variação de temperatura (°C) na etapa de aquecimento

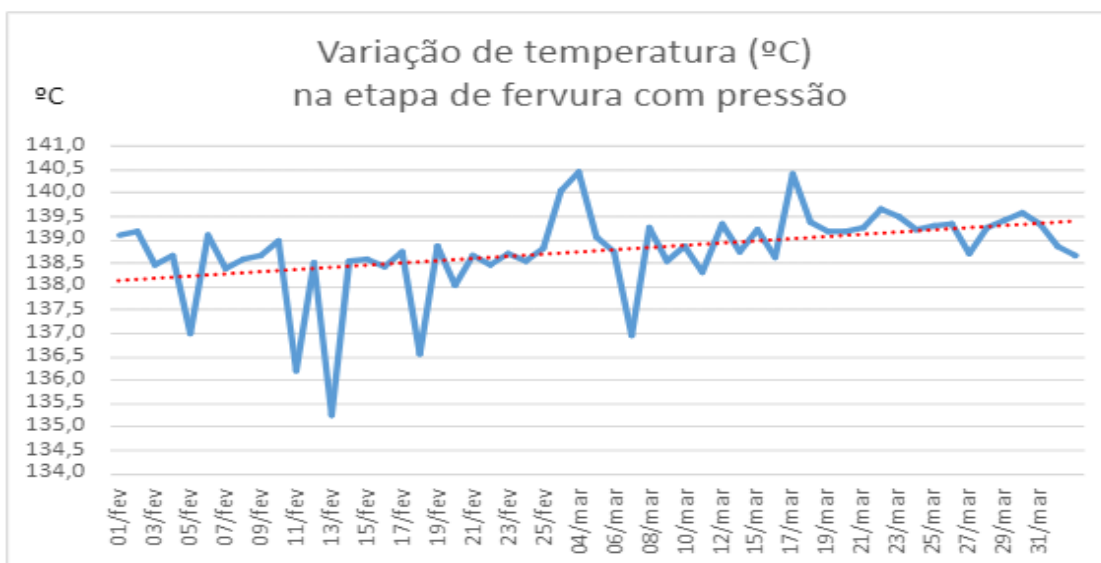


Fonte: Autor (2023)

Diante dos resultados observados no gráfico 3, a temperatura (representada pela linha contínua azul) demonstra menor variação após a data de março de 2023, sendo assim é possível perceber uma tendência de aumento de temperatura (indicado pela linha pontilhada em vermelho), o que decorre de um processo mais estável, dentro do patamar estabelecido próximo a temperatura de 140°C.

Perante o exposto gráfico 3, foi elaborado o gráfico 4 para acompanhar a variação da temperatura na etapa de fervura com pressão, abaixo:

**Gráfico 4.** Variação de temperatura (°C) na etapa de fervura com pressão







Fonte: Autor (2023)

Verificou-se durante as medições, a nítida mudança do comportamento da temperatura, após a modificação do local do manômetro, pois no gráfico 4 os cozimentos apresentaram em média menor variação (indicados pela linha azul contínua) e resultados mais próximos da temperatura ideal de 140°C para melhor eficiência do processo (observado melhor pela linha de tendência pontilhada em vermelho).

Para avaliar a eficiência da mudança e a compreensão dos resultados esperados com os resultados obtidos diante das quatro análises gráficas (material de referência gráfico 1, 2, 3 e 4), presentes no artigo, foi elaborada o Quadro 1, abaixo:

**Quadro 1:** Premissas e resultados das análises.

Item Analisado	Premissas	Resultados		Validação
		Antes	Depois	
Variação de tempo até atingir o patamar	Menor tempo até atingir o patamar	Tempo $\cong$ a 57 minutos	Tempo $\cong$ a 43 minutos	
Comparação da temperatura na etapa de aquecimento e da fervura	Maior temperatura No aquecimento. E temperatura constante à 140°C na etapa de fervura.	Temperatura $\cong$ de 115°C no aquecimento. Variação de temperatura entre 135°C e 138°C na fervura.	Temperatura $\cong$ de 120°C a 125°C, no aquecimento. E temperatura constante a 140°C na fervura.	
Aquecimento até chegar no patamar	Temperatura mais alta até o patamar	Temperatura em média menor que 135°C.	Temperatura em média superior a 135°C.	
Etapa de fervura com 2,74kgf	Temperatura mais próxima de 140°C	Temperatura em média menor que 138 °C.	Temperatura em média maior que 138,5°C.	

Fonte: Autor (2023)

Mediante as informações do Quadro 1, conclui-se que a mudança foi eficiente, na qual proporcionou um aumento de temperatura mais significativo em menor tempo de processo até atingir o patamar. Também, pode-se observar que os dados se mantiveram constantes, sem perder temperatura na etapa da fervura com pressão.

## 2. CONCLUSÃO

Após as pesquisas sobre os vasos com pressão e a compreensão de que são equipamentos perigosos que exigem os cuidados citados pela NR 13, entende-se que os instrumentos de medição são fundamentais para manter o processo mais seguro, pois as

variações geradas pela formação de condensados na linha da tomada de pressão forneciam informações equivocadas da pressão, conseqüentemente interferia na temperatura, ou travavam as leituras, resultando em revisões de manutenções mais frequentes do digestor.

Além dos aspectos de segurança, as modificações beneficiaram o processo com a redução de tempo na etapa aquecimento com pressão, como também na etapa seguinte, de fervura com pressão que apresentou temperatura mais constante a 140°C. Tais melhorias no processo contribuíram significativamente para a diminuição dos pedidos de manutenção que refletiram na redução das interrupções durante a operação do vaso.

Contudo, nota-se que a análise de anomalias nesse vaso com pressão em específico e a proposta de melhoria para atingir a causa raiz do problema estão atreladas a gestão de processos, na qual com a execução da mudança do manômetro e a instalação do sifão trouxeram aprimoramento para o processo.

## 2. REFERÊNCIAS

BORGES, Murilo de Carvalho; GUEDES; Eduardo Manuel. **Aplicação da metodologia DMAIC para gestão de estoque e redução de tempo em processos**. Fundação e Ensino e Pesquisa do Sul de Minas, 2020. Disponível em: < Repositório da FEPESMIG: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC PARA GESTÃO DE ESTOQUE E REDUÇÃO DE TEMPO EM PROCESSOS (unis.edu.br)>. Acesso em 29.10.2023

CAULLIRAUX, Hector; PAIN, Rafael; CARDOSO, Vinícius; CLEMENTE, Rafael. **Gestão de Processos – Pensar, Agir e Aprender**. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, p.25-26, 2009.

CIPRIANI, André Massa. **Elementos de Controle de Vazão, Nível e Pressão no Processo de Beneficiamento de Minério de Ferro**. Universidade de Federal de Minas Gerais, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/31129/1/Andre%20Massa%20Cipriani.pdf> Acesso em: 14.06.2023

GRABCAR. Disponível em: <<https://grabcad.com/library/process-vessel-tanque-reactor-para-proceso-1>>. 2023

FENNER, Germano. **Gestão de Processos e Indicadores de Desempenho**. 1ed. São Paulo: Editora SENAC, p.20, 2023

FIALHO, Eng. Arivelto Bustamante. **Automação Hidráulica - Projetos, Dimensionamentos e Análise de Circuitos**. Érica/Saraiva 7ª edição Revisada e Atualizada, 2019 p. 16,17

FILHO, Moacyr Paranhos. **Gestão de Produção Industrial**. 2ed. Curitiba: IBPEX, p.108, 2008.

GERRING, John. **Pesquisa de estudo de caso: Princípios e práticas**. Editora Vorazes, 2019.

JAQUES, Fernanda Caroline. **Técnicas de medição**. Centro Universitário Leonardo da Vinci – UNIASSELVI. Indaial: UNIASSELVI, 2015.

JUNIOR, Eudes Luiz Costa. **Gestão de Processos Produtivos**. 2oed. Curitiba: IBPEX, p.63-74, 2008.

KIPPER, Liane Mahlmann et al. **Gestão por processos: comparação e análise entre metodologias para implementação da gestão orientada a processos e seus principais conceitos**. Revista TECNO-LOGIA, p.98, 2011. Disponível em < ESTUDOS ELETROQUÍMICOS DE PARAQUAT (core.ac.uk)>. Acesso em 29.10.2023

MICHEL, Maria Helena. **Metodologia e Pesquisa Científica em Ciências Sociais: um guia prático para acompanhamento da disciplina e elaboração de trabalhos monográficos**. São Paulo, Atlas, 2005.

NICOLA, Marcelo Dalvi; VIEIRA, Marcos Fernando Neto. **Projeto mecânico e construção de vaso de pressão: estudo do caso serviço com sulfeto de hidrogênio**. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2021. Disponível em: <[https://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2012-1\\_marcos\\_o.pdf](https://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2012-1_marcos_o.pdf)>. Acesso em: 28.05.2023

PORTARIA MTP nº 1.846, de 1º de julho de 2022. **NR-13 – Caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento**.

SOUZA; Angélica Silva de; OLIVEIRA; Guilherme Saramago de; ALVES, Laís Hilário. **A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos**. Cadernos da Fucamp, v.20, n.43, p.64-83/2021. Disponível em: <<https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/article/view/2336/1441>>. Acesso em: 14.06.2023.