

NACIONALGÁS 

BRASILGÁS 

PARAGÁS 



APLICAÇÃO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL NO PROCESSO DE ENVASE DE GLP EM VASILHAMES P13: INOVAÇÃO TECNOLÓGICA PARA ANTECIPAÇÃO DE GARGALOS E OTIMIZAÇÃO DO LAYOUT

FORTALEZA

2025

DADOS DO CASE

Categoria:

Produção.

Autores:

- Wildenbergery Pereira Lucas – Nacional Gás
Contatos: wildenbergery.lucas@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Arlei Andrade da Silva – Nacional Gás
Contatos: arlei.silva@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Leandro Schimitt – Nacional Gás
Contatos: leandro.schimitt@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Roberto Rivelino Moura Barroso – Nacional Gás
Contatos: rivelino.barroso@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Paula Silva Marques – Nacional Gás
Contatos: paula.marques@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Nicolas Daniel Gomes Silva - Nacional Gás/Grupo Portfolio
Contatos: nicolas.daniel@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Plínio Ricardo Martins - Nacional Gás
Contatos: plinio.martins@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- José Germano Pereira de Sousa – Nacional Gás
Contatos: jose.sousa@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Lucas Braga Barroso - Nacional Gás
Contatos: lucas.barroso@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Wellington Amorim – Mix Engenharia
Contatos: lucas.barroso@nacionalgas.com.br / (031) 98855.0525

RESUMO

O artigo apresenta a aplicação de modelagem computacional no processo de envase de GLP em vasilhames de 13 kg nas unidades distribuidoras da Nacional Gás. A modernização das linhas de envase, composta por equipamentos automatizados de diferentes fornecedores e tempos de ciclo distintos, trouxe desafios de sincronismo e eficiência operacional, resultando em gargalos produtivos que, quando identificados apenas na fase de comissionamento, geravam custos adicionais, atrasos, retrabalhos e riscos de acidentes.

Para mitigar esses problemas, foi desenvolvida uma simulação digital do processo produtivo, através de modelagem computacional, utilizando o software Plant Simulation®, da Siemens. A ferramenta permitiu reproduzir, com precisão, o comportamento real do sistema, simulando parâmetros como velocidade dos transportadores, taxas de refugo, tempos de engarrafamento, inspeção, pintura e paradas operacionais (SIEMENS, 2023; FERNANDES, 2023). A análise dos resultados possibilitou identificar os pontos de restrição e realizar ajustes virtuais nas velocidades das esteiras e no sincronismo dos equipamentos, até alcançar o fluxo ideal de operação, sem filas nem ociosidade de recursos.

Com base nas simulações, foi elaborado um relatório técnico consolidado, comparando as velocidades de projeto e as ajustadas, que serviu de referência para a atualização dos projetos executivos e implantação definitiva. A modelagem computacional evidenciou o potencial impacto produtivo de gargalos não tratados, demonstrando que a perda diária de apenas uma hora de operação em uma unidade com capacidade nominal de 52.800 vasilhames P13/dia, como a de Betim-MG, representaria ao final de um mês a redução de 165 mil P13, equivalente a 12,5% da produção mensal e suficiente para deixar de atender 330 clientes com demanda média de 500 vasilhames cada (GOLDRATT; COX, 2004; SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2013).

A inovação reduziu a incerteza técnica, aumentou a confiabilidade dos resultados e consolidou uma nova metodologia de engenharia baseada em simulação preditiva,

NACIONALGÁS 

BRASILGÁS 

PARAGÁS 



garantindo maior eficiência operacional, segurança e previsibilidade. Com essa iniciativa, a Nacional Gás reforça seu compromisso com a inovação tecnológica e a excelência em gestão de projetos industriais (PMI, 2017; NEGRI et al., 2017).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1 Histórico da Nacional Gás Distribuidora Ltda.....	7
1.2 CENÁRIO	8
2. PROBLEMAS ENCONTRADOS	11
3. OBJETIVOS	14
3.1 Objetivo Geral.....	14
3.2 Objetivos Específicos	15
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
4.1 Gargalos produtivos.....	15
4.2 Modelagem Computacional.....	15
4.3 Software Plant Simulation®	16
5. MÉTODOS.....	18
5.1 Levantamento de dados.....	19
5.2 Desenvolvimento do conceito	19
5.3 Identificação da inovação.....	20
5.4 Implantação.....	20
6 RESULTADOS	20
6.1 Levantamento de dados.....	20
6.2 Desenvolvimento do Conceito	21
6.3 Identificação da Tecnologia	22
6.4 Implantação.....	22
7 CONCLUSÃO	28
8 REFERÊNCIAS.....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gargalo do processo de envase.....	9
Figura 2 - GAP causado pelo tempo de acionamento do freio do transportador	10
Figura 3 - Gargalo causado falta de sincronia entre transportadores	10
Figura 4 - Fluxo produtivo simulado no Plant Simulation®	17
Figura 5 - Linhas de transportadores para carregamento de caixas	18
Figura 6 - Fluxo da metodologia	18
Figura 7 - Fluxo da implantação	23
Figura 8 - Gêmeo digital da planta de envase	23
Figura 9 - Resultado da simulação com parâmetros de projeto e destaque verde o gargalo	25
Figura 10 - Trecho do relatório com identificação da necessidade de aumento da velocidade dos transportadores.....	26
Figura 11 - Trecho do relatório com identificação da necessidade de diminuição da velocidade dos transportadores.....	26
Figura 12 - Trecho do relatório com identificação da necessidade de diminuição da velocidade dos transportadores.....	27
Figura 13 - Trecho do relatório onde a velocidade dos transportadores foi mantida conforme projeto	27

1. INTRODUÇÃO

1.1 Histórico da Nacional Gás Distribuidora Ltda

A história da Nacional Gás se inicia em 1951, com um jovem empreendedor chamado Edson Queiroz que percebeu mudanças que estavam ocorrendo no mercado mundial na época e trouxe as mesmas para realidade dos cearenses. No início houve uma grande resistência da população devido ao receio do gás liquefeito do petróleo - GLP, no entanto o jovem Edson conseguiu convencer a população de Fortaleza a deixar os antigos fogões a lenha pelos novos fogões que utilizavam o novo produto. No início a empresa teve enormes dificuldades, pois além do grande preconceito do povo nordestino com o produto, ainda era difícil a obtenção de GLP, pois o produto era importado do México e Estados Unidos e ainda existia a dificuldade de distribuição dele. Para conseguir superar esses obstáculos foi preciso que o jovem empresário passasse a vender fogões, além de ter que ir pessoalmente nas casas dos clientes para fazer a instalação e informar sobre as vantagens dos novos produtos.

Em 1953, após uma ação arrojada, Edson Queiroz obteve a autorização para carregar seus botijões de gás na Refinaria Landulfo Alves em Mataripe - BA. A partir desta concessão, a Edson Queiroz & Cia., que tinha 289 clientes e comercializava 2,9 toneladas por mês, a partir dessa ação foram reduzidos os custos para obtenção do GLP, conseguindo progressos significativos na distribuição. Por outro lado, o mercado continuava crescendo com a disruptiva do preconceito dos consumidores em Fortaleza. Foi quando a empresa iniciou um crescimento e ampliou para outros estados do Brasil, além deste fato, também se estendeu para outras atividades econômicas.

A Nacional Gás chega aos dias atuais com foco na modernidade, com destaque nacional na comercialização de envasados domiciliar e crescendo cada vez mais no setor granel, graças ao reconhecimento e preferência dos seus parceiros de negócios, clientes

e consumidores. Atuando no armazenamento, envase e distribuição de GLP, está presente em quase todo o território nacional.

1.2 Cenário

As unidades distribuidoras de GLP da Nacional Gás, presentes em todas as regiões do Brasil, recebem anualmente projetos estratégicos voltados à modernização e ampliação da capacidade produtiva. Esses projetos têm como objetivo elevar os padrões de segurança operacional, qualidade do produto e eficiência no processo de envase, abrangendo tanto vasilhames quanto cilindros destinados à comercialização. Essa transformação está alinhada aos princípios da Indústria 4.0, que integram automação, sensoriamento e análise preditiva em sistemas produtivos (NEGRI et al., 2017)

A execução contempla a instalação de equipamentos com a mais avançada tecnologia disponível no mercado global, destacando-se:

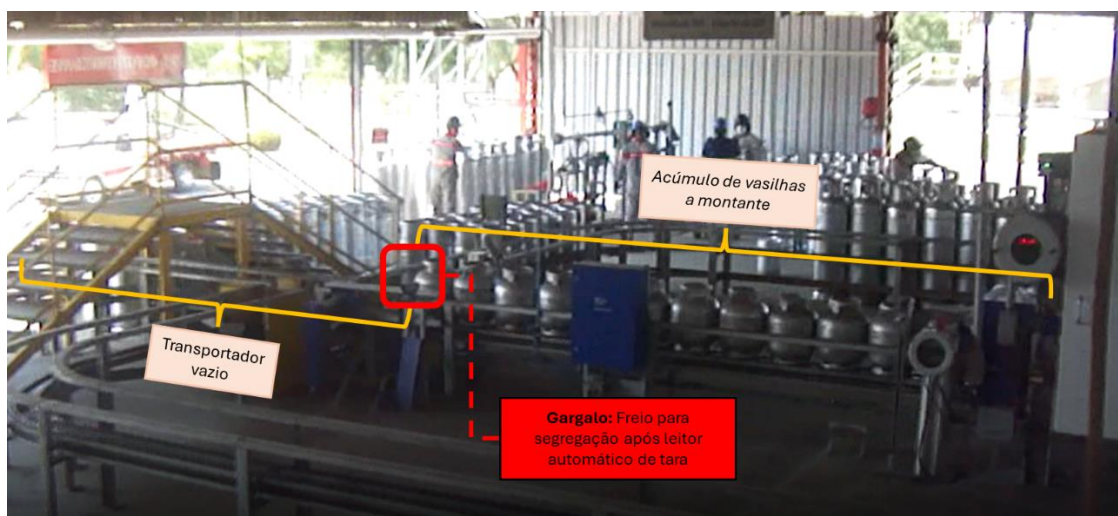
- Sistemas automáticos de identificação e coleta de dados dos vasilhames, assegurando rastreabilidade e confiabilidade;
- Equipamentos de teste de vedação interna e externa, que garantem estanqueidade e segurança;
- Equipamentos de envase automáticos, calibrados para precisão e estabilidade operacional;
- Sistemas de checagem de peso, fundamentais para o controle de qualidade;
- Cabines de pintura, que asseguram a identidade visual da marca e atendem aos critérios mais elevados de qualidade exigidos pelos consumidores;
- Equipamentos de colocação de lacres e volantes informativos, agregando valor à comunicação com o consumidor;
- Esteiras transportadoras de velocidade variável, que asseguram flexibilidade no fluxo produtivo.



A incorporação simultânea de múltiplas tecnologias exige, entretanto, a redistribuição dos equipamentos no espaço físico das unidades, de forma a otimizar o layout produtivo. Para isso, a Nacional Gás desenvolve projetos em conjunto com especialistas do mercado em engenharia industrial, que, com base nos manuais técnicos fornecidos pelos fabricantes e outras literaturas, elabora layouts adequados. Esse processo é enriquecido pela expertise acumulada dos colaboradores internos, cuja vivência prática garante maior aderência às realidades operacionais e de segurança da companhia (CHWIF; MEDINA, 2021).

Contudo, a integração de equipamentos de fornecedores distintos, com tempos de ciclo diferentes, pode gerar gargalos produtivos, conforme figura 1, quando não há coordenação tecnológica plena. Esses gargalos comprometem a fluidez da operação e impedem que a linha de envase opere em sua capacidade máxima, limitando os ganhos previstos no planejamento inicial. Esse descompasso entre transportadores e carrosséis evidencia a necessidade de ajustes de sincronismo, uma vez que pequenas variações nesses tempos impactam diretamente a produtividade e elevam os custos operacionais (LAW; KELTON, 2000).

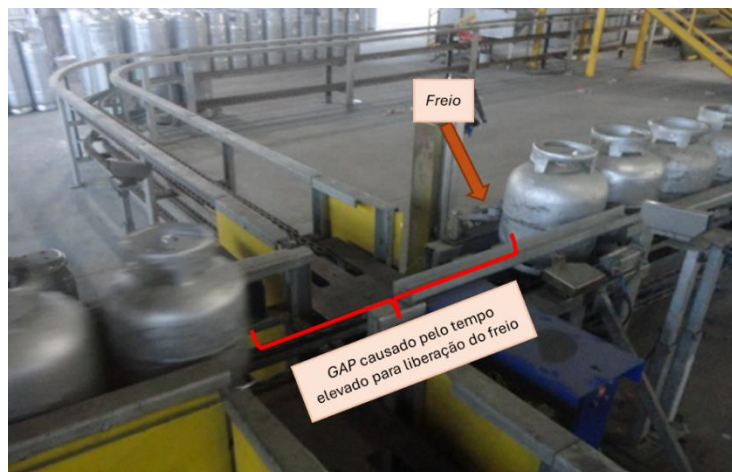
Figura 1 - Gargalo do processo de envase



Fonte: Elaborado pelo autor

Esses efeitos podem ser observados em situações reais ocorridas em uma unidade da Nacional Gás que passou por modernização e ampliação de capacidade produtiva. Na figura 2, o tempo de acionamento do freio do transportador provocou acúmulo excessivo de vasilhames à montante, gerando sobre enchimento da linha nos equipamentos posicionados antes do freio e ociosidade nos posteriores, por falta de alimentação. Na figura 3, o gargalo foi causado por um dimensionamento incorreto e falta de sincronia entre transportadores, ocasionando a prensagem de vasilhames e interrupção da fluidez do processo.

Figura 2 - GAP causado pelo tempo de acionamento do freio do transportador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3 - Gargalo causado falta de sincronia entre transportadores



Fonte: Elaborado pelo autor

Na prática, tais restrições são frequentemente descobertas apenas nas fases de comissionamento ou mesmo durante a operação em escala real, quando as alternativas de correção já implicam em maiores custos e complexidade. Como consequência, surgem:

- Custos adicionais não previstos, associados a adaptações emergenciais;
- Atrasos no cronograma, que impactam diretamente a entrega das unidades modernizadas;
- Retrabalho de engenharia e operação, onerando recursos humanos e financeiros e, sobretudo, gerando desmotivação entre as equipes, que passam a vivenciar um ambiente de pressão e baixa produtividade;
- Perda de produtividade, devido à ociosidade de equipamentos causada pelos gargalos;
- Quebra e desgaste prematuro de equipamentos, decorrentes da sobrecarga localizada em trechos específicos da linha;
- Possibilidade de acidentes operacionais, uma vez que, durante a fase de comissionamento, a equipe trabalha em condições de ajustes constantes, exposta a riscos adicionais até que a linha seja estabilizada;
- Redução da qualidade percebida das entregas, com reflexo na confiança das partes interessadas.

Esse contexto evidencia a importância de abordagens inovadoras capazes de antecipar e mitigar gargalos ainda na fase de projeto, assegurando maior confiabilidade, eficiência e previsibilidade nos investimentos em modernização.

PROBLEMAS ENCONTRADOS

Foram identificados problemas relevantes em relação a gargalos no sistema produtivo, que colocam em risco a viabilidade dos projetos com o aumento dos custos não planejados e do tempo, a segurança operacional e dos colaboradores, quando não

identificados possíveis gargalos ainda na fase de elaboração dos projetos de engenharia (DELOITTE, 2023; TIMENOW, 2023). São:

2.1 Custos adicionais não previstos

A identificação tardia de gargalos força a realização de adaptações emergenciais, como contratação de serviços adicionais de engenharia, revisão de layouts e aquisição de componentes não planejados. Esse cenário eleva de forma expressiva o valor final investido, comprometendo a saúde financeira do projeto. Um estudo da Deloitte para a FIESP mostrou que atrasos e custos imprevistos em obras industriais chegaram a R\$ 59 bilhões em 2023, no Brasil, cerca de 8% do total de investimentos previstos, reforçando a magnitude desse problema. Além do impacto direto no orçamento, esses desvios reduzem o retorno sobre o investimento (ROI) e drenam recursos que poderiam ser aplicados em outros projetos estratégicos da organização.

2.2 Atrasos no cronograma

Gargalos produtivos comprometem diretamente a fluidez da execução, ocasionando atrasos que se acumulam em efeito cascata. Cada dia de atraso na entrada em operação de uma unidade distribuidora significa perda de receita potencial e postergação de benefícios estratégicos. Uma pesquisa da Timenow revelou que 50% das paradas industriais, no Brasil, ultrapassam o prazo previsto, sendo que 23% apresentam atrasos superiores a 10%. Além das perdas financeiras, a imagem da área responsável pelos projetos diante das partes interessadas é prejudicada, comprometendo a confiança na governança de seus investimentos (PMI, 2017).

2.3 Retrabalho de engenharia e operação

O retrabalho decorrente de gargalos identificados tardiamente exige desmontagens, revisões de layout e ajustes operacionais que consomem tempo, recursos e energia das equipes. Além da sobrecarga financeira, o retrabalho gera

profunda desmotivação nos colaboradores, que passam a trabalhar sob pressão constante, em ambiente de incerteza e baixa moral. Pesquisas em ambientes industriais apontam que retrabalhos podem aumentar em até 30% o esforço de mão de obra, ao mesmo tempo em que reduzem a produtividade global e elevam o índice de rotatividade da equipe (CHWIF; MEDINA, 2021).

2.4 Perda de produtividade

Paradas do fluxo produtivo ocasionam a redução da eficiência da planta, impactando diretamente no atendimento das demandas do mercado, aumento do custo de produção, sobrecarga dos colaboradores, uma vez que há necessidade de realização de horas extras para atendimento da demanda, além de afetar o cumprimento de metas, principalmente de performance (LAW; KELTON, 2000).

2.5 Quebra e desgaste prematuro de equipamentos

A sobrecarga localizada causada pelos gargalos força máquinas e sistemas a trabalharem além de seus limites de projeto, acelerando o desgaste e aumentando a probabilidade de falhas. Esse efeito encurta a vida útil dos ativos, gera paralisações não programadas e eleva os custos de manutenção corretiva. Relatórios de confiabilidade operacional apontam que, em cenários de sobrecarga recorrente, a taxa de falhas pode duplicar em menos de dois anos, transformando máquinas de alto valor em passivos precoces.

2.6 Possibilidade de acidentes operacionais

Durante o comissionamento, quando ajustes ocorrem em paralelo à operação, os colaboradores estão expostos a riscos adicionais. Sobrecarga de sistemas, necessidade de intervenções rápidas e funcionamento intermitente de equipamentos criam um

ambiente propício a falhas humanas e acidentes. Além do impacto humano, sempre o mais grave, acidentes nesse contexto geram custos indenizatórios, multas regulatórias e danos severos à reputação da empresa. No setor de óleo e gás brasileiro, a ANP registrou em 2024 aproximadamente 2.690 incidentes, sendo 1.104 acidentes com dano efetivo, evidenciando a criticidade dos riscos em ambientes industriais complexos (ABNT, 2018).

2.7 Redução da qualidade percebida das entregas

A combinação de atrasos, retrabalhos e gargalos operacionais compromete a percepção de qualidade por parte das partes interessadas. Stakeholders passam a enxergar o projeto como falho, mesmo quando soluções emergenciais são aplicadas. Essa perda de credibilidade gera desgaste institucional, reduz apoio a novas iniciativas e impacta a competitividade da empresa no mercado. De acordo com o PMI (Project Management Institute), projetos percebidos como mal geridos têm até 50% menos chance de obter aprovação de novos investimentos, criando um efeito de longo prazo sobre a inovação e o crescimento organizacional.

OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Demonstrar os resultados obtidos com a implementação da modelagem computacional do processo de envase de GLP em vasilhames com capacidade de 13 kg (P13), que proporcionou tomadas de decisão ainda na fase de elaboração de projetos, fortalecendo a manutenção da produtividade e garantindo os resultados financeiros da companhia (PMI, 2017).

3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver revisão bibliográfica baseada em livros, normas e artigos (LAW; KELTON, 2000; CHWIF; MEDINA, 2021);
- Apresentar o fluxo de trabalho adotado para a implementação da modelagem computacional do processo de envase de GLP;
- Realizar a simulação computacional do sistema produtivo de envase utilizando o software Plant Simulation® (SIEMENS, 2023);
- Demonstrar os resultados obtidos com a aplicação dessas tecnologias, evidenciando os impactos nas operações e a eficiência dos projetos industriais da Nacional Gás.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Gargalos produtivos

Na literatura de gestão da produção, gargalo produtivo é definido como qualquer recurso cuja capacidade limita o desempenho global do sistema. Goldratt e Cox (2004), na Teoria das Restrições, destacam que o desempenho de uma linha de produção é determinado por seu elo mais fraco, sendo essencial identificar e otimizar os gargalos para elevar a eficiência global. De forma semelhante, Slack et al. (2013) reforçam que gargalos não tratados resultam em acúmulo de trabalho em processo, atrasos e aumento de custos operacionais.

1.2 Modelagem Computacional

Existem muitos métodos e ferramentas de design diferentes que podem ser usados para encontrar rapidamente soluções de engenharia em uma gama de problemas, mas atualmente um método utilizado e eficiente é a modelagem numérica.

A matemática discreta permite resolver problemas da mais diversa natureza e, mais importante, obter um valor exato para as quantidades que são de interesse. Desta forma aplicando a modelagem numérica à simulação computacional, surgiram alguns softwares que otimizam e viabilizam soluções na engenharia. A modelagem computacional é uma ferramenta consolidada para a simulação e análise de processos produtivos, permitindo identificar gargalos, testar cenários e avaliar alternativas de melhoria sem a necessidade de intervenções físicas. De acordo com Law e Kelton (2000), a simulação é especialmente útil em sistemas complexos e interdependentes, como linhas de produção, onde mudanças em uma etapa podem gerar impactos significativos em todo o fluxo.

Autores nacionais como Chwif e Medina (2015) reforçam que a modelagem computacional reduz custos e riscos ao possibilitar ajustes ainda na fase de planejamento, evitando retrabalhos durante a execução. Esse “laboratório virtual” (SHANNON, 1998) permite antecipar problemas, aumentar a confiabilidade das decisões e otimizar o uso de recursos.

Com o avanço da Indústria 4.0, a integração entre simulação, gêmeos digitais e IoT potencializa a eficiência operacional (NEGRI et al., 2017). Ferramentas com o **Plant Simulation**® (SIEMENS, 2023) possibilitam representar processos produtivos completos e realizar otimizações sem riscos à operação.

Autores como Milanez (2021) e Fernandes (2023) destacam que o uso de simulação reduz custos de engenharia e aumenta a confiabilidade dos resultados.

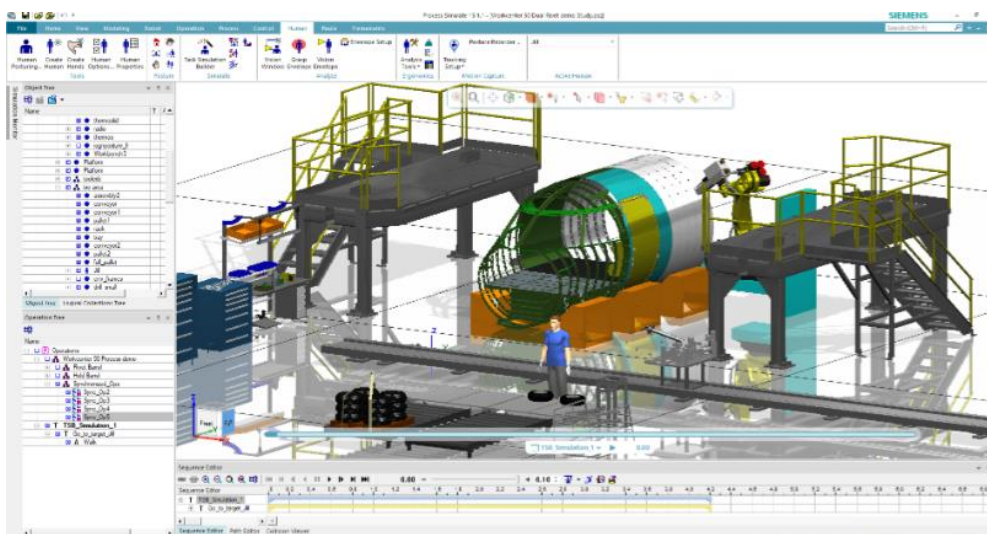
1.3 Software Plant Simulation®

A simulação é uma técnica que possui o objetivo de analisar as reações geradas a partir um conjunto de entradas de modo a avaliar as mudanças sem que haja interferência no comportamento físico de um determinado processo ou sistema. Dessa

forma, há uma redução de custo de implementação por conta dos riscos que são evitados ao analisar a eficácia das alterações propostas antes de realizar as mudanças no processo físico (Milanez, 2021; Fernandes, 2023).

O Plant Simulation® é uma solução que permite a simulação, análise e otimização de sistemas produtivos que podem envolver armazenagem e movimentação de materiais, dimensionamento de estoques e mão-de-obra, sequenciamento de produção, setup e manutenção de equipamentos, turnos de trabalho e muitas outras possibilidades. Essa ferramenta permite que seja validada estratégias em um ambiente virtual e tome melhores decisões para seu negócio. A figura 4 ilustra um fluxo produtivo simulado no Plant Simulation®.

Figura 4 - Fluxo produtivo simulado no Plant Simulation®



Fonte: Elaborado pelo autor.

O software mencionado permite a modelagem e modificação de protótipos em ambiente virtual, possibilitando a identificação e correção de gargalos e interferências durante as etapas de desenvolvimento. Essa metodologia proporciona maior eficiência nas alterações de projeto e contribui para a redução de custos associados ao retrabalho e à solução de não conformidades. A Figura 5 demonstra linhas de transportadores para carregamento de caixas.

Figura 5 - Linhas de transportadores para carregamento de caixas



Fonte: Elaborado pelo autor

MÉTODOS

A metodologia desse trabalho, apresentado na figura 6, inclui um estudo mais aprofundado sobre oportunidade de melhoria elaboração de projetos de engenharia voltados para modernização e ampliação da capacidade produtiva e obtenção de informações em artigos sobre os conceitos e fundamentos dos estudos associados ao tema (ABNT, 2015; ABNT, 2018), metodologia tecnológica, implantação da tecnologia, e medição dos resultados.

Figura 6 - Fluxo da metodologia



Fonte: Elaborado pelo autor

1.1 Levantamento de dados

Durante visitas técnicas às unidades distribuidoras da Nacional Gás, especialmente aquelas em fase de testes e operação, foi constatada falta de coordenação entre os tempos de chegada dos vasilhames aos postos de trabalho. Essa desarmonia operacional ocasionava formação de filas, quando uma estação seguinte estava sobrecarregada, ou ocorrência de ociosidade, quando equipamentos permaneciam inativos à espera de vasilhames.

Foram coletados dados técnicos dos equipamentos de envase, manuais de operação, capacidade nominal, tempo de ciclo, velocidade das esteiras transportadoras e parâmetros de rejeição e inspeção. Essas informações serviram de base para compreender a dinâmica do sistema produtivo e identificar potenciais gargalos.

1.2 Desenvolvimento do conceito

A partir da análise dos dados levantados, observou-se a necessidade de coordenar o tempo de chegada e saída dos vasilhames entre as etapas do processo produtivo, garantindo o equilíbrio do fluxo.

Iniciou-se então um estudo de métodos que pudessem representar e analisar o comportamento integrado dos equipamentos, de modo a prever gargalos antes da implantação física. Após avaliação de diferentes alternativas e benchmarking com práticas adotadas em outros setores industriais, verificou-se que a modelagem computacional apresentava o melhor potencial de aplicação, permitindo testar diversos cenários de velocidade, capacidade e sequência operacional de forma virtual, sem riscos à operação real.

1.3 Identificação da inovação

Com base na análise das melhores práticas de engenharia e estratégias de otimização de processos, foi identificada como solução a modelagem computacional do processo de envase de GLP em vasilhames de 13 kg.

Essa abordagem foi escolhida por sua capacidade de simular, visualizar e quantificar o comportamento do sistema produtivo, permitindo ajustes antes da instalação física dos equipamentos.

1.4 Implantação

A inovação foi implantada de forma integral no projeto de Modernização e Ampliação da Capacidade Produtiva da Unidade de Betim - MG, ainda na fase de elaboração dos projetos de engenharia.

6 RESULTADOS

6.1 Levantamento de dados

A aplicação da modelagem computacional do processo de envase de GLP em vasilhames com capacidade de 13 kg permitiu uma análise minuciosa de cada etapa do sistema produtivo, apontando, de forma seccionada por equipamentos, os recursos nos quais, em operação, seriam ocasionados gargalos.

Foram coletados e parametrizados dados técnicos provenientes dos manuais dos equipamentos, medições de campo e observações de operação, incluindo velocidade dos transportadores, tempos de ciclo, capacidade nominal de cada módulo, taxa de envase, taxa de refugo e tempos médios de inspeção e pintura.

A partir desses dados, foi possível reproduzir digitalmente o comportamento real da linha de envase, permitindo observar como diferenças nos tempos de processamento

e no sincronismo entre os módulos automáticos impactariam o fluxo de vasilhames. A modelagem revelou que pequenas variações na velocidade das esteiras e no tempo de resposta de determinados equipamentos poderiam gerar acúmulo de vasilhames em pontos intermediários, ocasionando ociosas parciais em outros trechos da linha.

Esse diagnóstico virtual, realizado antes da execução física do projeto, representou um avanço significativo no processo de planejamento, pois antecipou com precisão os pontos críticos que, tradicionalmente, só seriam identificados na fase de comissionamento ou durante a operação real.

6.2 Desenvolvimento do Conceito

Com foco na melhoria da qualidade das entregas e no maior engajamento da equipe técnica, foi conduzido um processo de benchmarking com outros segmentos industriais, analisando métodos de otimização de fluxo produtivo aplicados em diferentes tipos de manufatura. As referências externas, somadas à expertise da equipe de engenharia da Nacional Gás, permitiram avaliar alternativas como balanceamento de linha, controle automatizado de velocidade e sistemas de monitoramento em tempo real.

Entre as soluções estudadas, a modelagem computacional do processo de envase de GLP em vasilhames de 13 kg apresentou o melhor desempenho técnico e aderência às necessidades do projeto. Essa tecnologia possibilitou reproduzir digitalmente o processo de envase, antecipando gargalos e permitindo testar cenários de sincronismo entre os módulos automáticos. Assim, o processo de tomada de decisão passou a ser preditivo e orientado por dados, garantindo maior confiabilidade técnica e precisão nas definições de engenharia.

6.3 Identificação da Tecnologia

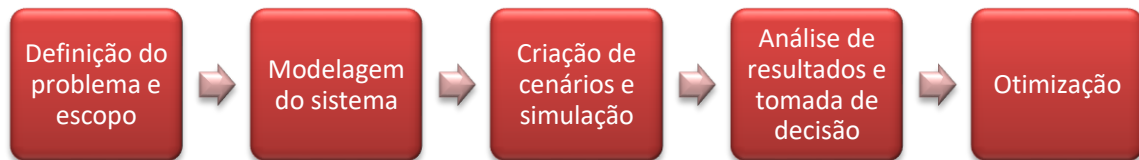
Após identificada a solução mais aderente às necessidades do projeto, foi iniciado o processo de aplicação da inovação por meio da modelagem computacional. Para isso, foram disponibilizados os projetos de engenharia da unidade, plantas de layout, memoriais descritivos e manuais técnicos dos equipamentos de envase, inspeção e pintura. Esses documentos serviram como base para a configuração do modelo digital e para o mapeamento detalhado dos parâmetros operacionais.

A tecnologia selecionada para o desenvolvimento do modelo foi o software Plant Simulation®, desenvolvido pela Siemens, reconhecido por sua capacidade de realizar simulação de eventos discretos e representar o comportamento real de processos produtivos complexos. O uso dessa ferramenta possibilitou a integração virtual de todos os equipamentos da linha, permitindo a análise simultânea de variáveis como velocidade dos transportadores, taxas de refugo, tempos de ciclo, segregação de vasilhames e paradas operacionais. Essa etapa marcou a transição do planejamento conceitual para a validação técnica baseada em dados simulados, garantindo maior previsibilidade e segurança no processo de decisão.

6.4 Implantação

Foi utilizado o software Plant Simulation®, desenvolvido pela Siemens, como ferramenta computacional para a modelagem discreta do processo produtivo de envase de GLP em vasilhames de 13 kg. A implantação da modelagem seguiu uma metodologia estruturada, conforme figura 7, iniciando pela definição do problema e do escopo da simulação, que teve como objetivo otimizar o fluxo produtivo e eliminar gargalos nas linhas de envase. Foram estabelecidos os limites de análise, os recursos a serem modelados e o nível de detalhe necessário para representar fielmente o sistema, abrangendo máquinas, transportadores e interações operacionais.

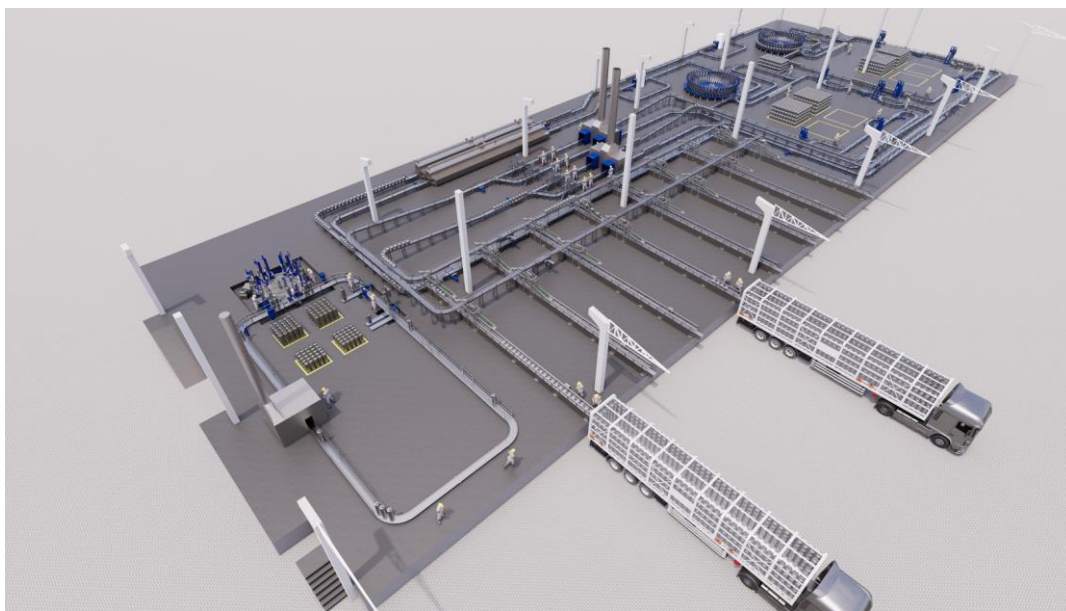
Figura 7 - Fluxo da implantação



Fonte: Elaborado pelo autor

Em seguida, foi realizada a modelagem do sistema no ambiente virtual do Plant Simulation®, com a criação de um gêmeo digital da planta de envase (figura 8 Gêmeo digital da planta de envase). Nessa etapa, foram utilizados dados reais de projeto e operação, provenientes de manuais técnicos, estudos de cronoanálise e medições de campo, assegurando a precisão dos tempos de ciclo e capacidades produtivas. Cada elemento do processo - como módulos de envase, transportadores, áreas de inspeção, cabines de pintura e dispositivos de lacre - foi representado de forma individual, permitindo analisar a interação entre os componentes e o comportamento global do sistema.

Figura 8 - Gêmeo digital da planta de envase



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a construção do modelo, foram criados cenários de simulação e experimentação, nos quais diferentes configurações de velocidade, layout e estratégias de controle foram testadas. Essa abordagem possibilitou avaliar, de forma comparativa, o impacto das variações sobre indicadores como rendimento, taxa de utilização dos recursos e capacidade total de produção.

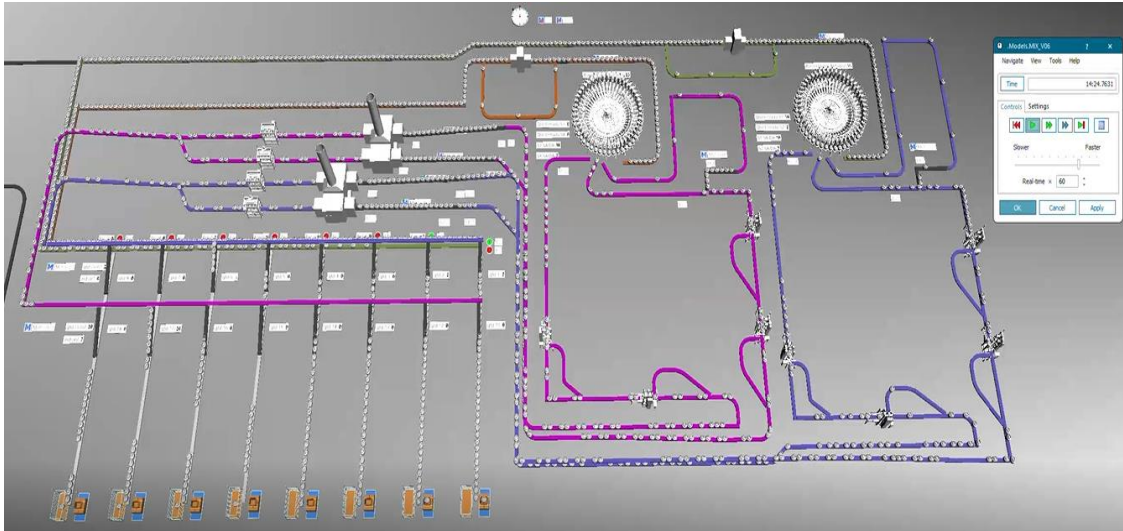
A aplicação da ferramenta permitiu simular, com elevado grau de precisão, os seguintes parâmetros operacionais:

- Velocidade dos transportadores;
- Segregação das vasilhas não conformes;
- Taxa e tempo de engarrafamento;
- Tempo e taxa de refugos;
- Tempo de inspeção de presença de anel de vedação e vazamento;
- Tempo de processo de pintura e aplicação de lacre;
- Taxa de falhas e paradas operacionais.

A modelagem computacional, desenvolvida no Plant Simulation®, proporcionou visualização completa e dinâmica do comportamento do processo produtivo, com base nas velocidades e capacidades definidas pelos fabricantes dos equipamentos e especificadas na fase de projeto, ainda sem otimização. Por meio de vídeos e animações geradas pelo software, foi possível observar o fluxo real dos vasilhames ao longo das etapas de envase, inspeção e pintura, identificando com clareza os pontos de restrição do sistema, conforme apresentado na Figura 9, que destaca um dos gargalos detectados.



Figura 9 - Resultado da simulação com parâmetros de projeto e destaque verde o gargalo



Fonte: Elaborado pelo autor.

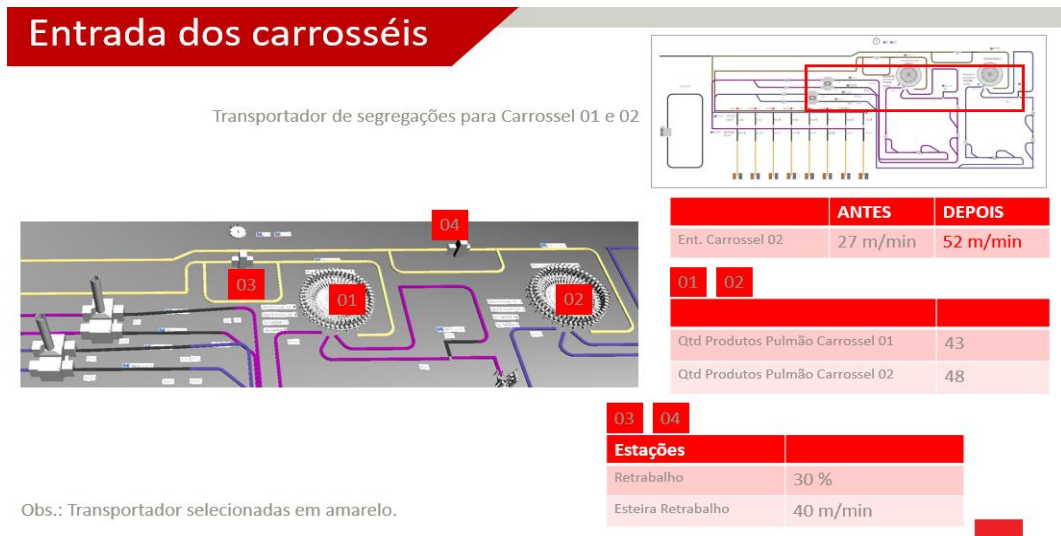
A simulação apontou que, para atingir a capacidade efetiva dos carrosséis de envase - definidos como o bottleneck resource do processo -, os demais equipamentos periféricos especificados em projeto apresentavam capacidade suficiente. No entanto, o tempo de chegada dos vasilhames (arrival time), determinado pela velocidade das esteiras transportadoras, exigia ajustes pontuais, pois era o principal responsável pela formação de filas e períodos de ociosidade.

Uma vez identificadas as restrições, iniciou-se um processo sistemático de ajuste das velocidades dos transportadores diretamente no modelo computacional, com o objetivo de eliminar gargalos e equilibrar o fluxo produtivo. Cada nova configuração era submetida a uma simulação completa no Plant Simulation®, que permite a análise de turnos inteiros de produção em tempo real ou acelerado, com a possibilidade de pausar, retroceder e detalhar eventos específicos através do painel de comando.

Após diversas iterações e validações, foi obtido o fluxo ideal de operação, compatível com a capacidade produtiva efetiva dos equipamentos. Foi então elaborado um relatório técnico consolidado, apresentando, para cada trecho de transportador, as velocidades originais de projeto e as velocidades ajustadas, em metros por minuto

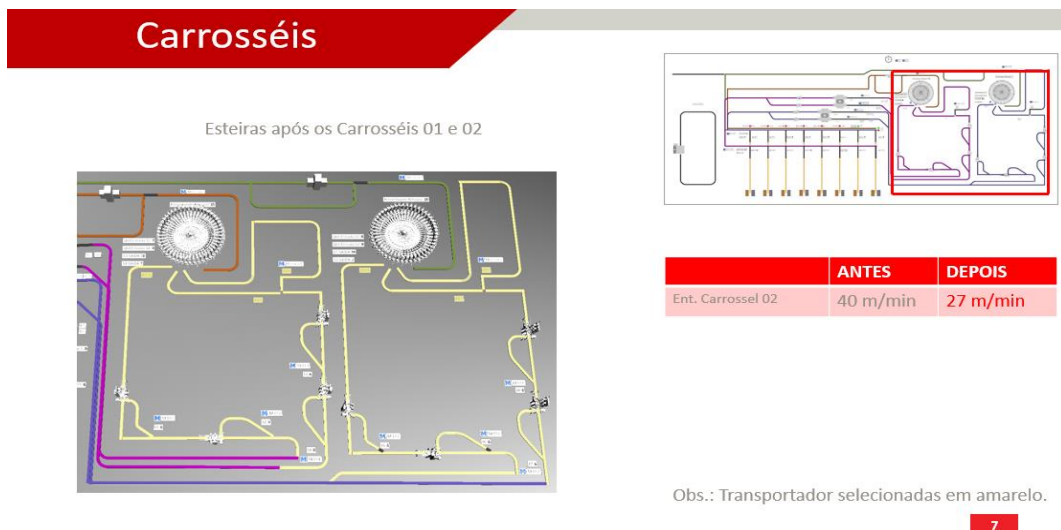
(m/min), conforme demonstrado nas Figuras 10 e 11, onde se observa a variação de velocidade antes e depois da otimização.

Figura 10 - Trecho do relatório com identificação da necessidade de aumento da velocidade dos transportadores



Fonte: Elaborado pelo autor

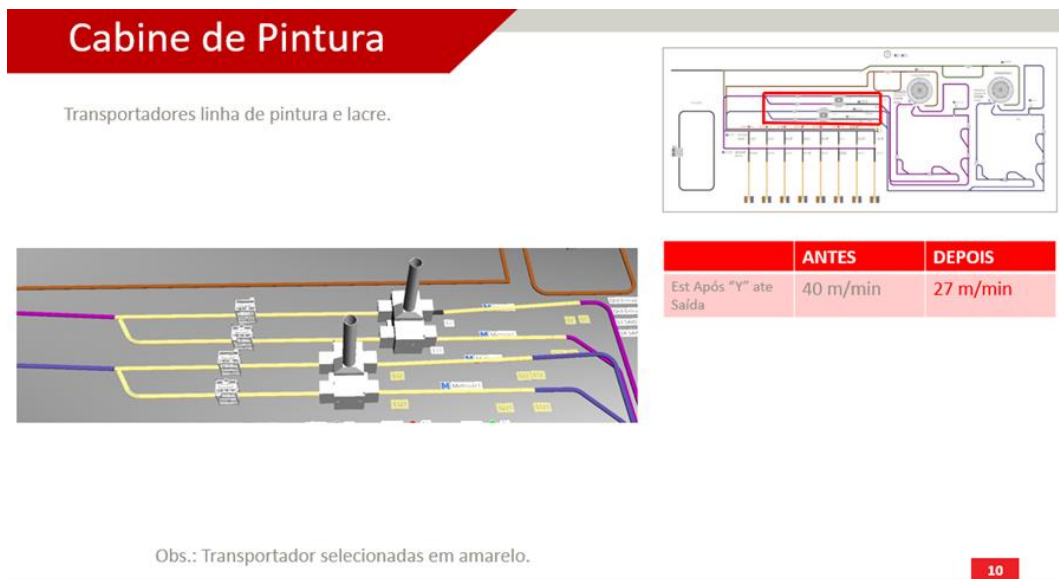
Figura 11 - Trecho do relatório com identificação da necessidade de diminuição da velocidade dos transportadores



Fonte: Elaborado pelo autor

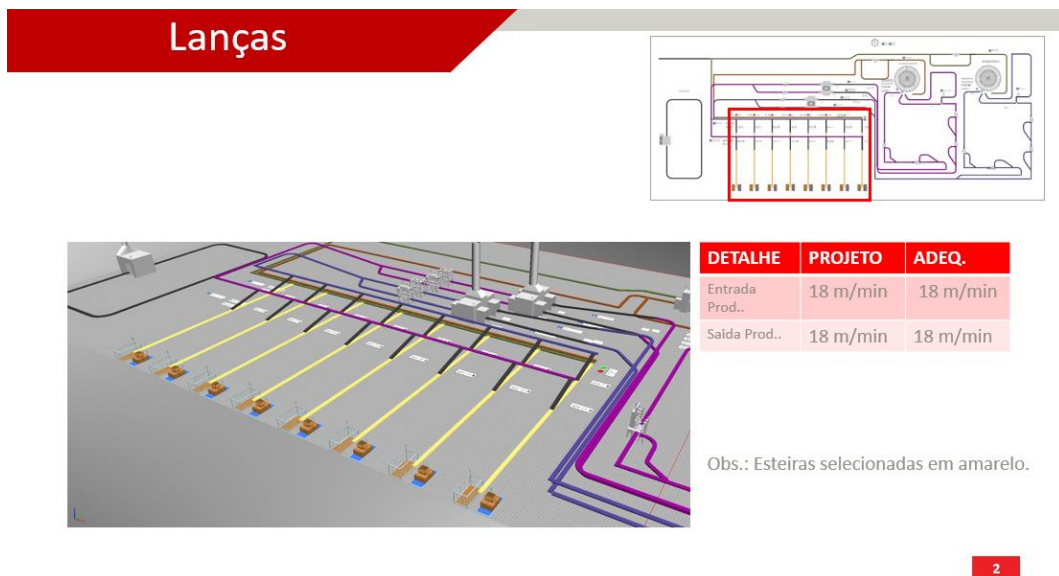
O relatório também apontou trechos que exigiram ajustes (Figura 12) e outros em que as definições originais de projeto se mostraram plenamente adequadas (Figura 13), validando a robustez das decisões de engenharia já tomadas.

Figura 12 - Trecho do relatório com identificação da necessidade de diminuição da velocidade dos transportadores



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13 - Trecho do relatório onde a velocidade dos transportadores foi mantida conforme projeto



Fonte: Elaborado pelo autor

Essa metodologia comprovou-se a melhor solução possível para o desafio apresentado, pois permitiu antecipar com precisão as condições reais de operação, eliminar gargalos, e garantir a sincronia entre todos os módulos do sistema produtivo. O uso da modelagem computacional mostrou-se uma ferramenta estratégica e inovadora, elevando a previsibilidade técnica, reduzindo incertezas e consolidando um novo padrão de excelência em engenharia dentro da Nacional Gás.

7 CONCLUSÃO

A aplicação da modelagem computacional no processo de envase de GLP em vasilhames de 13 kg representou um avanço inédito na engenharia da Nacional Gás, permitindo antecipar gargalos, eliminar ineficiências e otimizar o desempenho produtivo antes da execução física do projeto. Por meio do software Plant Simulation®, foi possível reproduzir virtualmente o comportamento do sistema produtivo, testar cenários operacionais e ajustar parâmetros críticos de velocidade e sincronismo, garantindo maior previsibilidade e confiabilidade nas decisões de engenharia . (SIEMENS, 2023; CHWIF; MEDINA, 2021; LAW; KELTON, 2000).

A simulação demonstrou, de forma prática e mensurável, que a perda de apenas uma hora de produção diária em uma unidade com capacidade nominal de 52.800 vasilhames P13/dia, como a de Betim–MG, representaria ao final de um mês a redução potencial de 165 mil P13, equivalente a 12,5% da produção mensal, volume suficiente para deixar de atender 330 clientes com demanda média de 500 vasilhames cada. Essa análise evidencia o impacto que gargalos produtivos poderiam causar caso não fossem identificados e mitigados previamente, reforçando o valor estratégico da modelagem computacional como ferramenta de prevenção e otimização de desempenho (GOLDRATT; COX, 2004; SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2013).

Com o uso da simulação preditiva, foi possível eliminar as incertezas técnicas e antecipar decisões críticas, garantindo maior assertividade nos projetos e reduzindo a

probabilidade de retrabalhos e paradas não planejadas. O método trouxe ganhos indiretos expressivos em eficiência operacional, confiabilidade técnica e segurança do processo, consolidando-se como um diferencial competitivo na gestão de projetos industriais (PMI, 2017; ABNT, 2015; ABNT, 2018).

Assim, a Nacional Gás estabeleceu um novo marco em sua prática de engenharia, ao incorporar a modelagem computacional como ferramenta estratégica para o planejamento e validação de projetos. A iniciativa reafirma o compromisso da empresa com a inovação tecnológica, a segurança operacional e a excelência na gestão de seus investimentos, fortalecendo sua posição como referência nacional em modernização e eficiência no setor de GLP (NEGRI et al., 2017; FERNANDES, 2023).

8 REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR ISO 9001:2015** – Sistemas de gestão da qualidade — Requisitos.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2015.

ABNT. **NBR ISO 31000:2018** – Gestão de riscos — Diretrizes. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2018.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria & Aplicações**. 5. ed. São Paulo: Elsevier, 2021.

DELOITTE. **Estudo FIESP – Atrasos e Impactos em Obras Industriais**. São Paulo: Deloitte, 2023.

FERNANDES, F. C. **Simulação Computacional de Processos Industriais com Plant Simulation®**. *Revista Engenharia de Produção e Sistemas*, v. 10, n. 3, p. 45–58, 2023.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A Meta: Um Processo de Melhoria Contínua**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 2004.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling and Analysis**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

MILANEZ, A. C. **Aplicações da Simulação Computacional em Processos de Manufatura**. *Revista Engenharia Mecânica*, v. 12, n. 2, p. 58–67, 2021.

NEGRI, E. et al. **A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems**. *Procedia Manufacturing*, v. 11, p. 939–948, 2017.

PMI – Project Management Institute. **Guia PMBOK: Um Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos**. 6. ed. Pennsylvania: Project Management Institute, 2017.

SHANNON, R. E. **Introduction to the Art and Science of Simulation**. In: *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*. IEEE, 1998.

SIEMENS PLM SOFTWARE. **Tecnomatix Plant Simulation – User Manual**. Siemens Industry Software Inc., 2023. Disponível em: <https://www.plm.automation.siemens.com>.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

TIMENOW. **Relatório de Desempenho de Projetos Industriais no Brasil**. São Paulo: Timenow, 2023.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product Design and Development**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

NACIONALGÁS 

BRASILGÁS 

PARAGÁS 



CHOI, S. H.; CHAN, A. M. M. **A Virtual Prototyping System for Rapid Product Development.** *Computer-Aided Design*, v. 36, p. 401–412, 2004.

TAKAGAKI, L. K. **Tecnologia de Impressão 3D.** *Revista Inovação Tecnológica*, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 28–40, jul./dez. 2012.