

USO DE SIMULAÇÃO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE SPOOLS EM UMA EMPRESA DO RAMO DO PETRÓLEO E GÁS NO RN



Paulo Cesar Do Rosario Fernandes (UFERSA)

Ana Cláudia Souza Vidal de Negreiros (UFERSA)

Miriam Karla Rocha(UFRN)

O crescimento da economia brasileira tem gerado, dentre outros, o aumento de consumo de combustíveis fósseis, resultando na necessidade de ampliar a infraestrutura da indústria de óleo e gás e sua capacidade de processamento. Nesse sentido, os spools são usados na construção de componentes de tubulações com diferentes finalidades. É um processo manual devido à dificuldade de automatização diante de geometrias complexas. Assim, o objetivo deste trabalho é utilizar a simulação visando não apenas identificar gargalos na fabricação de spools, mas também melhorar os métodos e processos de forma geral. Este estudo traz ainda informações sobre a influência da qualidade dos spools na confecção nos *pipe shops*, destacando a relevância dos critérios na área de óleo e gás, apontando a identificação de gargalos, otimizando a mão de obra, a supervisão, além de permitir a simulação de diferentes cenários. A metodologia do trabalho envolve a modelagem e a simulação de processos industriais para análise e otimização, abrangendo várias etapas, como formulação, representação, implantação, verificação e validação, experimentação e análise de resultados. O estudo gerou resultados significativos para identificação do melhor cenário possível, como os observados no cenário 2 que foi o melhor, já que a quantidade de peças processadas aumentou de 18 para 26, as taxas de ocupação tiveram alterações nos valores, no cenário atual temos em média 41%, já no cenário ideal obtivemos 70% em média, um aumento significativo nas taxas de ocupação média. Além disso, não houve alteração de tempo médio de fila devido ao impacto do tempo de fila da soldagem.

Palavras-chave: Indústria de óleo e gás, spools, simulação de processos, otimização.

1. Introdução

Segundo Schiavi (2015) a história do petróleo no Brasil teve início no ano de 1892, onde um fazendeiro perfurou o primeiro poço em busca de petróleo no interior de São Paulo. No ano de 2005, na cidade de Santos-SP, foram encontrados os primeiros indícios de petróleo na camada pré-sal. A conclusão das análises em um segundo poço indicou volumes recuperáveis entre cinco e oito bilhões de barris de petróleo e gás natural, consequentemente as reservas de óleo aumentaram 73% no mesmo período (GIGLIOTTI, 2012). Com isso existe a necessidade de se ter a ampliação da infraestrutura atual da indústria de óleo e gás e sua capacidade de processamento para se poder alavancar a economia brasileira ainda mais.

Nesse sentido, o processo de fabricação de spools é uma solução para se reduzir custos de instalação em campo e ao mesmo tempo oferece uma alta qualidade no produto, já que a fabricação é feita em um ambiente controlado (PEDRO, 1999). O processo é praticamente todo manual devido à dificuldade de se automatizar a fabricação de componentes, já que alguns apresentam geometria complexa. Um spool é uma tubulação utilizada para o transporte de fluidos, e geralmente promove a conexão de um sistema mais amplo. Um tubo é um condutor fechado, oco, geralmente de seção transversal circular destinado principalmente ao transporte de fluidos. Uma tubulação é um conjunto de tubos, conexões, válvulas e acessórios (ROCHA, 2017).

Assim, diante da necessidade de spools de alta qualidade, este estudo vai utilizar simulação a eventos discretos para avaliar cada etapa de fabricação dentro da produção das tubulações, a fim de verificar gargalos, e em consequência obter dados para um possível estudo de métodos e processos, para que com esses resultados ter mais qualidade na tomada de decisão, direcionada a mudança de processos. Um dos problemas para uma empresa no setor de fabricação de tubulações industriais é definir quais projetos selecionar para aceitação e execução. Obtendo, assim, um bom retorno financeiro, para atingir, ou superar, as expectativas do cliente. Esta etapa de seleção é um problema importante, já que existe a limitação nos recursos financeiros da empresa, de mão-de-obra especializada e de capacidade produtiva. Não obstante, há uma séria limitação nacional de recursos de matéria-prima para o setor de tubulações industriais, que atenda de forma integral, em

prazo exequível, aos crescentes requisitos de qualidade, integridade, certificação e meio ambiente (CANATO, 2022).

O objetivo geral desta pesquisa é melhorar os métodos e os processos de fabricação de spools. Já os objetivos específicos são identificar quais os gargalos nos processos de fabricação e otimizar a mão de obra e supervisão, resultando em melhorias contínuas nos processos de fabricação de Spools na indústria de óleo e gás.

2. Referencial teórico

2.1. Uso de simulação como ferramenta de decisão

A simulação computacional é uma ferramenta que pode auxiliar o gestor em suas tomadas de decisão, porém devemos reforçar que sua aplicação deve ser coordenada criteriosamente por um profissional devidamente capacitado e que tenha o domínio das áreas de conhecimento específicas do caso estudado (SANTOS, 2022). A Figura abaixo mostra algumas vantagens e desvantagens no uso de simulação.

Figura 1: Vantagens e desvantagens do uso de simulação

Vantagens	Desvantagens
■ Custos menores. ■ Validação do processo sem precisar fazer testes experimentais. ■ Simulação de cenários com diferentes variáveis de entrada e valores dos parâmetros. Na prática, isso poderia levar tempo e saturar o sistema.	■ Conhecimento técnico sobre modelagem matemática e simulação computacional. ■ Treinamento para que o profissional especializado possa operar sistemas computacionais.

Fonte: Modelagem e Simulação de Processos (2022)

Para projetos de simulação tradicionais, a comunicação visual permite uma melhor compreensão do processo e aumenta a probabilidade de aceitação do estudo e de que sua implementação seja bem-sucedida (SILVA, 2011). A simulação é uma técnica poderosa que permite modelar e analisar processos complexos em diversos setores, proporcionando valiosas vantagens, como a otimização de operações, a redução de custos, a análise de riscos e o suporte ao treinamento de pessoal. Além disso, ela possibilita a experimentação em ambientes virtuais, permitindo que as empresas testem diferentes cenários sem incorrer em custos reais ou riscos operacionais. No entanto, as desvantagens incluem a necessidade de investimento significativo em software e hardware, como mostra na figura 1, bem como

a complexidade na construção dos modelos simulados, que podem resultar em imprecisões se os dados de entrada não forem adequados (SANTOS,2022).

2.2. Fabricação de spools

Trechos de tubulações, ou spools, são fabricados através da união por meio de solda de materiais base, ou matéria-prima, tais como trechos retos de tubo e conexões tubulares (curvas, tês, reduções, flanges, entre outros), no qual um projeto de engenharia é usado como base para a fabricação do spool. Essas tubulações são usualmente fabricadas em locais apropriados, chamados de pipe shop, contendo todas as ferramentas, equipamentos, instrumentos e profissionais qualificados para a execução. Os profissionais que atuam diretamente na fase de fabricação dos spools são dos caldeireiros (ou encanadores industriais) e soldadores, que possuem qualificação específica para atuar na montagem e soldagem dos componentes que irão formar o trecho de tubulação. Diversas operações de fabricação estão envolvidas na produção de spools, como corte, montagem, soldagem, controle de qualidade, inspeção, teste, jateamento e pintura (CANATO, 2017).

2.3. Problemas no dimensionamento de spools

Telles, Pedro e Silva (1999) afirmam que os principais problemas que envolvem o dimensionamento das tubulações são fatores hidráulicos. E que tais problemas podem ser resolvidos por meio de ajustes, como mudança da velocidade de vazão, verificação das cotas, as perdas de carga admissíveis, tipo de fluido, material utilizado e aplicação da tubulação. Azevedo; Eduardo Chamusca, (2020) ao descrever o histórico brasileiro em relação à fabricação de spools define que há a prevalência de modalidade na empresa montadora implementa pequenas oficinas (*pipe shops*) que realizam todas as operações que poderiam ser feitos na montadora, porém com seus próprios recursos, ou seja, suas ferramentas e máquinas. O que é definido pelo autor como algo pouco benéfico diante de que existem maquinários melhores e com maior desempenho e todo processo é melhor acompanhado e controlado nas montadoras. Em seu trabalho, Linhares e Thiago (2020) reforçam que a qualidade das Spools tem muita influência na confecção feita nos pipes shops focando em seu aspecto geométrico. E que um bom resultado depende de inúmeros critérios na sua área de estudo que é o óleo e gás (O & G). A Figura 2 traz a ilustração de alguns spools fabricados na indústria do petróleo atualmente.

Figura 2: Spools fabricados para transporte de petróleo



Fonte: SYBS (2024)

Um projeto de fabricação de tubulações pode iniciar a partir da necessidade da troca de uma tubulação existente (manutenção), devido ao alto grau de corrosão ou vazamento, ou da implementação de uma nova linha, para atender um objetivo específico, seja por aprimoramento ou correção. Com a necessidade de fabricação, é elaborado o projeto de engenharia, onde é contemplado todo o design da tubulação onde deve ser especificado os materiais a serem utilizados, condições de operação da linha (pressão e temperatura), diâmetros, classe de pressão, espessura de parede da tubulação (*schedule*), geometria ou rota e eventuais equipamentos e válvulas. (CANATO,2017). O monitoramento rigoroso das variáveis que descrevem o comportamento de um processo é uma das principais condições para o gerenciamento da qualidade da operação de um sistema produtivo. Dados industriais e medidas de processos são geralmente utilizados com propósitos de ações de controle, otimização e planejamento gerencial, em geral (CAMPOS, 2013.)

A simulação de processo oferece uma abordagem sistemática para identificar e resolver desafios operacionais na fabricação de spools. Ao aplicar técnicas de simulação as empresas podem alcançar ganhos significativos em eficiência, qualidade e competitividade. Investir em simulação de processo é essencial para garantir operações eficientes e econômicas na fabricação de spools e em outras áreas da indústria. A

necessidade de redução de despesas tem direcionado a indústria química para a realização de processos fortemente integrados. Para estes processos, a validação da integridade do projeto e a sua operabilidade prática requerem a simulação de toda planta com o uso de modelos rigorosos (SECCHI P. A, 1995). O interesse industrial em técnicas e pacotes computacionais para a modelagem e simulação de processos tem crescido muito nestes últimos anos.

3. Procedimento metodológicos

Neste trabalho aplicamos a metodologia usada para modelagem e simulação de processos industriais, presente em Greorio, Gabriela F P; Lozada, Gisele. (2019). A metodologia adotada neste estudo foi a de modelagem e simulação estruturada de forma sequencial e integrada, visando uma análise abrangente do processo de fabricação de spools na caldeiraria. Os passos seguidos incluem:

- **Formulação do Problema e Objetivos:** A primeira etapa envolveu a identificação do problema a ser analisado, que se concentrou na eficiência dos processos e na identificação de gargalos. Os principais objetivos foram definidos, incluindo a melhoria da produtividade, redução de custos e diminuição de desperdícios.
- **Desenvolvimento do Modelo Conceitual:** Utilizou-se a técnica IDEF-SIM para criar um modelo conceitual que refletisse o processo atual de fabricação de spools. Um fluxograma foi desenvolvido para oferecer uma visualização clara das etapas do processo e das interações entre elas (LEAL, 2008).
- **Coleta de Dados e Verificação:** Dados quantitativos foram coletados a partir da observação direta nas instalações da empresa, registrando os tempos de execução em cada etapa do processo (recebimento, traçagem, corte, acoplamento, soldagem e inspeção). Um total de 50 amostras de tempo para cada fase foi registrado, totalizando 350 valores. Gráficos de controle foram utilizados para identificar e descartar outliers e garantir a confiabilidade dos dados.
- **Análise Estatística:** A análise estatística dos dados foi realizada utilizando o software R Studio com auxílio de uma representação visual feito com a função `descdist`, este indicou visualmente qual a distribuição os dados coletados representava. Também foi feito o teste qui-quadrado dos dados através do teste de aderência do *p-value*. Os dados

das várias etapas do processo apresentaram valores de p significativos, maiores que 0,05, indicando que a distribuição normal era uma boa representação.

- **Implantação do Modelo Computacional:** A transformação do modelo conceitual em um modelo computacional foi realizada usando o software de simulação JaamSim®. Este software possibilitou a realização de simulações sob diferentes cenários, permitindo a análise das variações nos tempos de execução e recursos utilizados.
- **Experimentação e Análise de Cenários:** Foram conduzidas simulações em cenários variados para testar a eficiência do processo ao alterar as variáveis operacionais, como a alocação de recursos. O desempenho foi avaliado em relação a indicadores de eficiência, como o tempo de espera nas filas e a taxa de ocupação dos recursos.
- **Interpretação dos Resultados:** Os dados obtidos foram analisados à luz dos objetivos propostos, permitindo identificar os principais gargalos no processo, especialmente nas etapas de soldagem e inspeção, e sua relação com os tempos de execução.
- **Recomendações e Conclusões:** A partir das análises, recomendações foram elaboradas para a implementação de melhorias no processo, oferecendo uma base sólida para otimizações futuras.

4. Resultados

4.1. Formulação

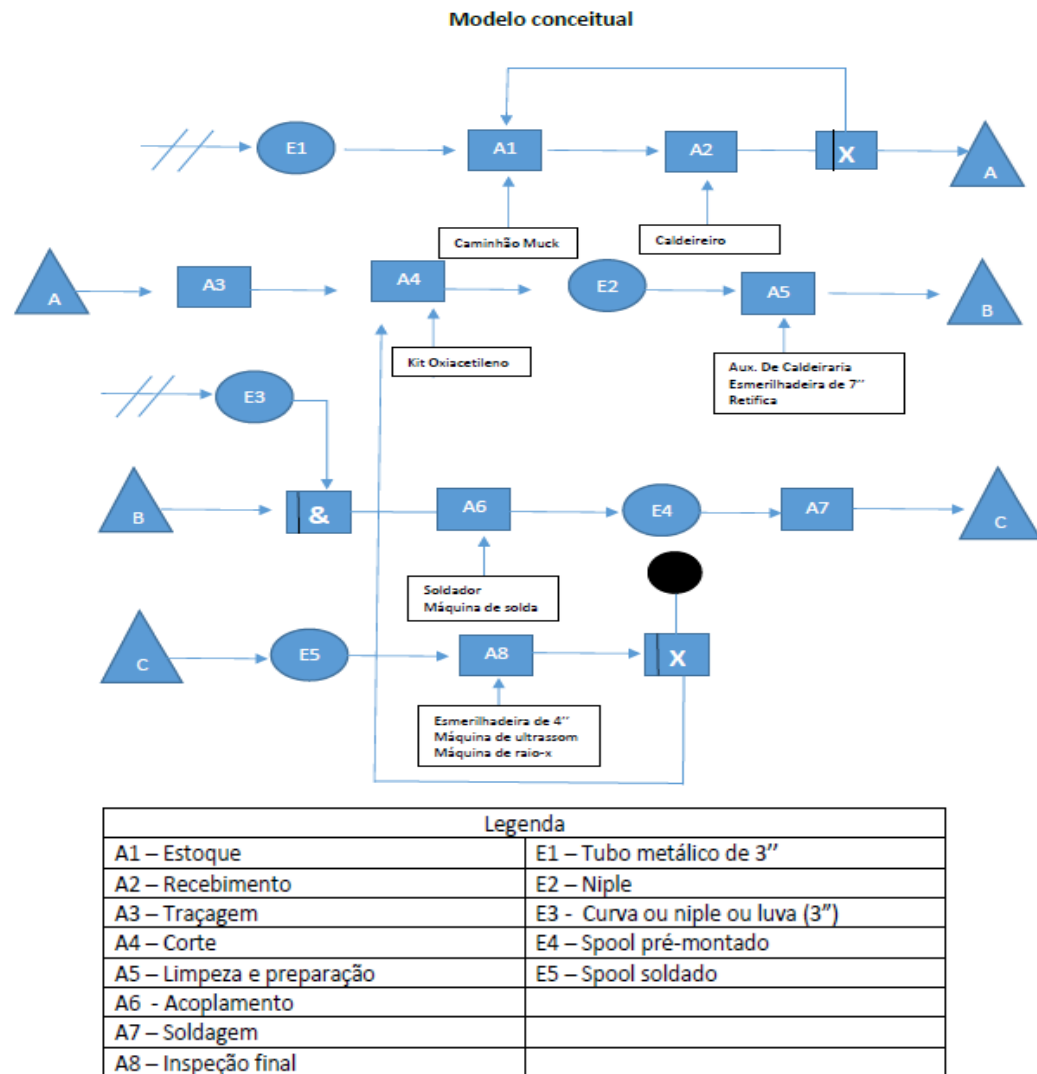
Os objetivos dos projetos de simulação, na maioria das vezes, estão associados à identificação de pontos que promovem melhorias. Algumas dessas melhorias podem ser: aumento de produtividade, redução de custos, aumento da capacidade de produção, redução de desperdícios, redução de tempo de produção. A ideia é favorecer o alcance dos objetivos de desempenho das empresas (GREGÓRIO; LOZADA, 2019). O processo de fabricação é feito em um ambiente chamado *pipe shop* ou caldeiraria. Este estudo não irá considerar o tempo gasto em uma posterior pintura, portanto não há movimentação dos componentes estudados para outros ambientes durante a fabricação. As ferramentas ou equipamentos usados no processo são: munck para transportar os componentes até a área de montagem, esmerilhadeira de 7", esmerilhadeira de 4", retífica, máquina de solda e kit oxiacetileno. Para a simulação não será utilizado o tempo que a matéria-prima passa no estoque, visto que não se teve acesso a esses dados.

4.2. Representação (modelo conceitual)

O processo estudado é realizado em um ambiente chamado *pipe-shoop* ou caldeiraria, a maior parte dos spools são fabricados lá e depois levados para o campo para aplicação, a primeira etapa deste processo acontece quando a matéria-prima (tubos e conexões) chegam no estoque onde são armazenados para posteriormente usados, esta **etapa não será inserida nesta simulação** por não se ter noção do tempo que a matéria-prima passa neste local. Em seguida, tem-se o recebimento onde o responsável realiza a coleta e verificação do material que será utilizado. Logo após, há a fase de se traçagem onde o caldeireiro marca onde serão efetuados cortes nos tubos de acordo com projeto, depois temos o corte dos tubos e acoplamento ou montagem para ser executado as soldas na etapa seguinte. Ao final temos então a inspeção onde são feitos os ensaios visuais e dimensionais das soldas e também aferição se as dimensões dos spools estão de acordo com as especificações.

A Figura 3 mostra que existem dois processos de decisão fundamentais nas etapas de recebimento (A2) e inspeção (A8), nos quais a entidade processada pode ser aprovada e seguir, ou ser reprovada e voltar à etapa anterior (LEAL, 2008).

Figura 3: Fluxograma ideef-simm do processo



Fonte: Autoria própria (2024)

4.3 Verificação

Para o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas coletas de dados nas instalações da empresa objeto da pesquisa, para o estudo foi coletado os tempos de execução de cada etapa do processo produtivo e organizados em uma planilha, porém, será necessário verificar se existem valores com muita discrepância que possam ocasionar erros nas etapas posteriores do estudo. Para o início do processo de modelagem não iremos contabilizar o tempo gasto no desenho do projeto com uso do software, a modelagem será iniciada com a marcação do tempo quando o projeto chega até o caldeireiro que é o responsável pela

fabricação do spool. Os valores de tempo de execução de cada atividade foram colocados em uma planilha do Excel, para o estudo se coletou 50 tempos de cada etapa do processo, o que no total gerou 350 valores. Para que esses valores pudessem ter um nível de aceitação ser confiáveis foi usado uma ferramenta conhecida como gráfico de controle, onde os valores são relacionados em um gráfico que avalia a variação dos mesmos em torno de uma média estabelecida e um ponto de limite de variação superior e outro inferior. Assim, valores que não estão dentro desses limites foram descartados e não foram usados para o estudo.

A sequência estabelecida para construir o gráfico de controle inicia na determinação da amplitude movel dos valores coletados que contitui no valor absoluto da diferença entre duas observações consecutivas como mostrado a seguir (VIEIRA, 2014) :

$$MR = |x_i - x_{i-1}| \quad (4.1)$$

A seguir determinado a media das observações como mostrado na Eq (4.2):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_m}{m} \quad (4.2)$$

Na sequência foi determinado a medias das amplitudes moveis (Eq 4.4), com os valores obtidos em Eq (4.1) :

$$\overline{MR} = \frac{MR_2 + MR_3 + \dots + MR_m}{m-1} \quad (4.4)$$

Finalmente foi determinado os limite superior de controle (LSC) e o limite inferior de controle (LIC) para média :

$$LSC_{\bar{x}} = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (4.5)$$

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (4.6)$$

Os valores d2 são tabelados

Para determinar os limites de controle da amplitude foi usado as Eq 4.7 e 4.8 :

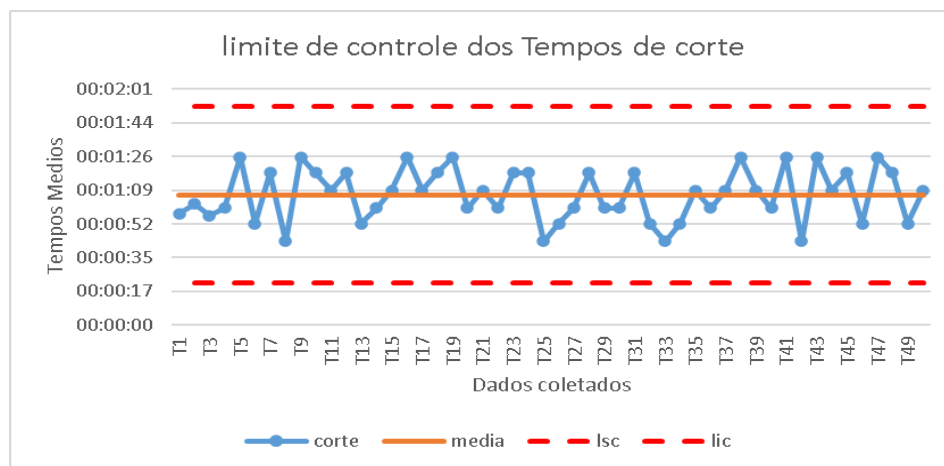
$$LSC = D_4 \overline{MR} \quad (4.7)$$

$$LIC = D_3 \overline{MR} \quad (4.8)$$

Os valores D4 e D3 são retirados de uma tabela.

No exemplo abaixo foram identificados que 1 valor estava fora dos limites de controle estabelecidos pelo gráfico e, conseqüentemente, este valor foi retirado do conjunto de dados.

Figura 4: Gráfico do tratamento de dados do corte

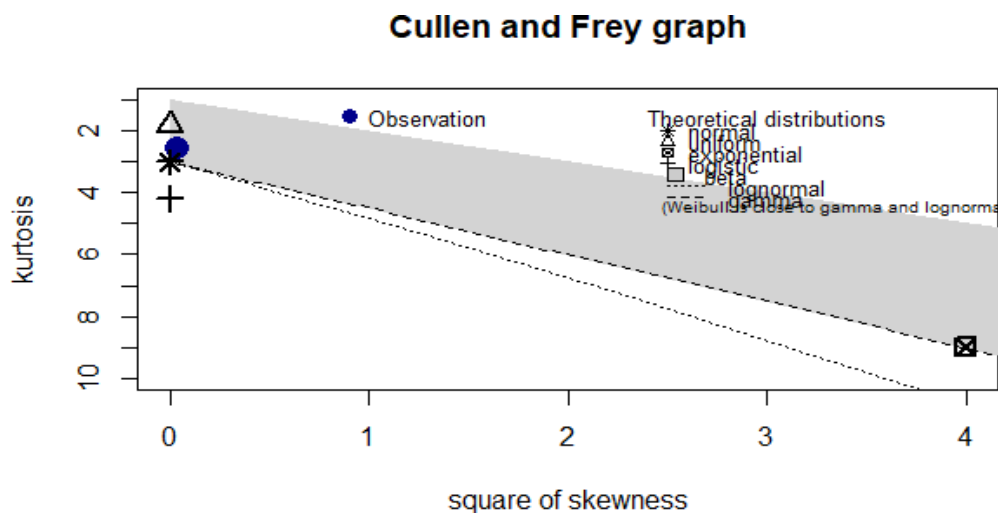


Fonte: Autoria própria (2024)

4.4. Análise estatística dos dados de entrada

Para determinação da distribuição o conjunto de dados obtidos pode repretar estatisticamente, usamos o software R STUDIO, essa ferramenta auxiliou na determinação da distribuição estatística que foi usada na simulação atravésde uma representação visual de um grafico feito com função **descdist** como mostra a Figura 5. Ela representa uma aproximação visual dos valores da soldagem, o ponto azul é o conjunto de dados, observa-se que ele tem comportamento tendencioso a distribuição normal. Esta análise foi feita em todas as etapas do processo como mostrado na Figura 6.

Figura 5: Aproximação visual de distribuição para os dados da soldagem



Fonte: Autoria propria (2024)

Figura 6: Distribuição probabilística de cada etapa do processo

ETAPAS	DISTRIBUIÇÃO
RECEBIMENTO	NORMAL
TRAÇAGEM	NORMAL
CORTE	NORMAL
LIMPEZA	NORMAL
ACOPLAMENTO	NORMAL
SOLDAGEM	NORMAL
INSPEÇÃO	NORMAL

Fonte: Autoria Própria (2024)

Após a obtenção dos gráficos de aproximação de distribuição dos valores também foi utilizado o R Studio para testar se realmente os valores obtidos são confiáveis, para isso se usou o teste qui-quadrado para obtenção do *p-value* que foi usado para comprovação de aderência dos dados a distribuição normal, este teste apresentou os resultados:

- **Recebimento:** 0,0580
- **Traçagem:** 0,08767
- **Corte:** 0,05608
- **Limpeza:** 0,0591
- **Acoplamento:** 0,05531
- **Soldagem:** 0,5325
- **Inspeção:** 0,05366

O teste *p-value* estabelece que valores iguais ou maiores a 0,05 tem uma boa aceitação e a distribuição testada pode ser usada Sthda (2023), os testes feitos indicaram a normalidade dos dados por isso foram usados os parâmetros média e desvio padrão nos cenários simulados.

4.4.1 Obtenção de parâmetros

Após os dados passarem por tratamento estatístico e determinação da distribuição, foi necessário encontrar os parâmetros para utilização na simulação, com todas as etapas do processo produtivo identificou-se que a distribuição normal é a indicada, foram estipulados as médias e o desvio padrão respectivamente de cada etapa como mostrado na Figura 7.

Figura 7: Parâmetros obtidos do tratamento estatístico dos dados

Valores de parâmetros de gráfico de controle do processo		
Etapa	Média(minutos)	Desvio padrão(minutos)
Recebimento	1,47	0,15
Traçagem	2,55	0,50
Corte	1,07	0,13
Limpeza	4,17	0,52
Acoplamento	3,34	0,28
Soldagem	15,20	1,16
Inspeção	12,29	1,17

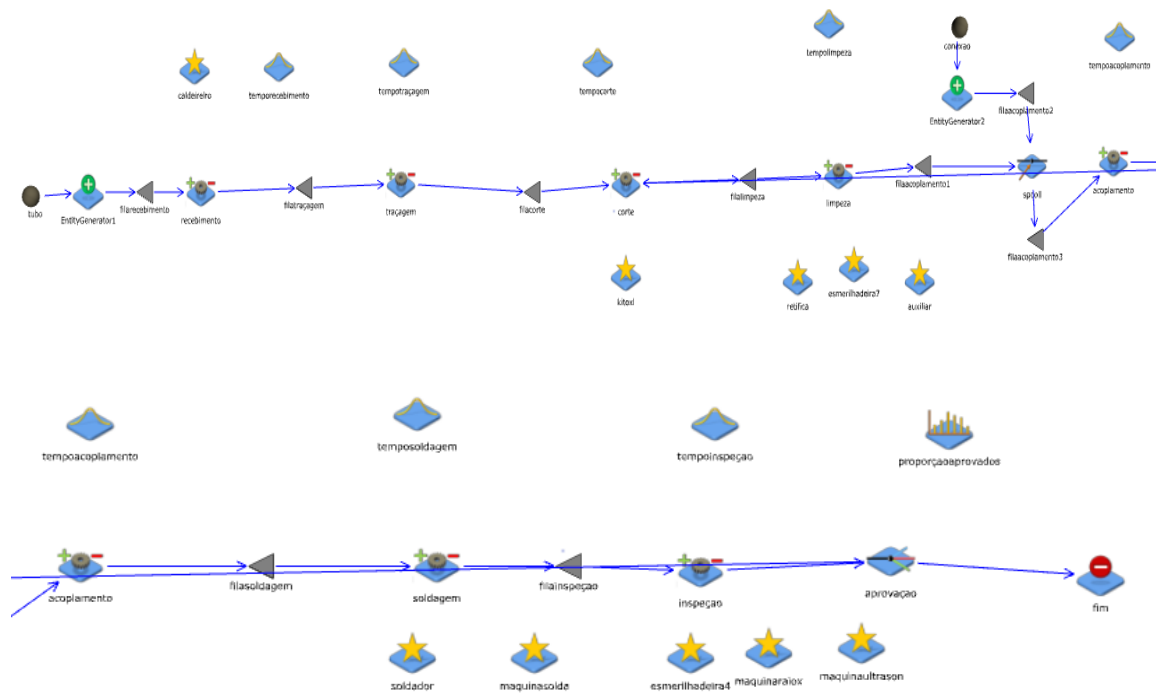
Fonte: Autoria Própria (2024)

A figura 7 mostra os parâmetros obtidos no tratamento estatístico de gráfico de controle. Observa-se que a soldagem e a inspeção tem os maiores tempos médios de execução, o que inicialmente nos leva a supor que o gargalo do processo está nessas etapas.

5. Implantação do modelo computacional

Foi construído o modelo computacional usando como base o modelo conceitual do processo de fabricação de spools, para tal foi usado o conjunto de dados antes obtidos e devidamente tratados estatisticamente, a seguir temos uma representação do cenário inicial (atual) do processo onde foi feita a simulação com as condições operacionais existentes sem alterações de recursos como representado na figura 8.

Figura 8: implantação do modelo conceitual do cenário atual



Fonte: Autoria Própria (2024)

Para o estudo foram simulados 5 cenários com condições diferentes de funcionamento do sistema, onde foram alterados parâmetros como a quantidade de mão de obra envolvida nas atividades com o objetivo de se obter uma quantidade de peças processadas menor no final de 8 horas que é o tempo de simulação testado que vai de acordo com a carga horária trabalhada para realização das atividades. Para cada cenário simulado foram feitos 100 replicações, no caso do cenário atual onde a simulação é feita com as condições operacionais iniciais com os recursos (um caldeireiro, um soldador e um auxiliar) obtivemos em média 18 peças processadas. As taxas de ocupação dos recursos variaram de 14% a 66% o que aparentemente mostra ociosidade em algumas atividades.

6. Experimentação e análise de cenários

Nesta seção temos os resultados simulados para cada cenário proposto pelo trabalho que são: cenário 1 (um caldeireiro, um soldador e um auxiliar), cenário2 (dois caldeireiros , um soldador e um auxiliar), cenário 3 (dois caldeireiro, dois soldador e um auxiliar), cenário 4 (dois caldeireiros, dois soldadores e dois auxiliares), cenário 5 (um soldador , um caldeireiro e dois auxiliares).

6.1. Cenário 1 (atual : um caldeireiro, um soldador e um auxiliar)

Os resultados obtidos no cenário real do processo de fabricação de spools usa apenas um recurso em cada operação. Pode-se observar que no cenário atual os recursos estão com uma taxa de ocupação bem distribuída, mesmo levando em consideração que o caldeireiro está presente em mais de uma etapa do processo (recebimento, traçarem, corte e acoplamento). Podemos observar que o tempo de espera na fila de soldagem é zero mais em conta partida sua taxa de ocupação é a maior para este cenário, isto devido a esta atividade ter o maior tempo de execução, praticamente o que vemos é que o soldador termina uma peça e logo em seguida já tem outra para soldar, sua ociosidade é pouca.

6.2. Cenário 2 (dois caldeireiros)

Para este segundo cenário foi introduzido mais um caldeireiro no sistema, tendo em vista que a taxa de ocupação deste anteriormente era a que tinha os maiores valores, isto devido a sua utilização em mais de uma atividade simultaneamente. Pode-se observar que a taxa de ocupação do caldeireiro no recebimento e na traçagem aumentaram respectivamente de 53% e 32% para 73% e 71%. Em contrapartida, os tempos de espera das respectivas filas dessas operações também reduziram de 2,6 para 1,8 minutos em ambas as atividades, o que constata que uma maior quantidade de entidades pode ser processada já que se tinha uma maior disponibilidade de recursos. Com isso o preço a ser pago por essa maior quantidade de recurso que disponibilizamos na atividade que antes era o gargalo do sistema, tivemos a sobrecarga do soldador que antes tinha uma taxa de ocupação de 66% e agora com 96% vemos que este opera no seu limite. Isto também se reflete no tempo de fila da soldagem que antes era zero, ou seja, a entidade assim que chegava a fila era atendido imediatamente, agora este tempo é de 1,9 min. Finalmente, pode-se concluir que esse cenário pode ser considerado mais vantajoso que o atual, já que no final do dia no

período estabelecido pela simulação tivemos o aumento considerável de entidades processadas, o que antes era processado 18 peças agora com um simples aumento de apenas um recurso tivemos 26 peças processadas.

6.3. Cenário 3 (dois caldeireiros e dois soldadores)

Como o intuito da simulação é o de buscar a melhor alternativa tanto produtivamente quanto economicamente, testou-se outro cenário com 2 soldadores. Após a simulação de uma condição que possivelmente traria um resultado ainda melhor para o processo, vemos que nem sempre o que parece ser uma boa alternativa pode realmente trazer bons resultados. Quando igualamos a quantidade de soldadores as do caldeireiro podemos observar que o processo não melhorou seus resultados, mas permaneceu com os mesmos números de desempenho que obtivemos com apenas 1 soldador, isto torna inviável o gasto com o investimento da contratação de mais um soldador já que isso não agrega valores de melhoria de desempenho no processo.

6.4. Cenário 4 (dois caldeireiros, dois soldadores e dois auxiliares)

Para tentar melhorar o desempenho do processo, também foi simulado um cenário com o dobro de todos os recursos de mão-de-obra possíveis. Esperava-se que com o dobro da capacidade de recursos o processo teria um desempenho bem melhor que o obtido anteriormente com os outros. Para este cenário também foram mantidos todos os parâmetros obtidos nas coletas de dados, usamos a média de tempo de processamento bem como o desvio padrão desses valores, assim, pode-se obter através da simulação o tempo que a entidade passa na fila de espera de cada operação..Nesse sentido, como esperado, com o dobro da capacidade de atendentes, a operação de limpeza que é a que usa o recurso do auxiliar tem o tempo de fila de espera zerado, contudo sua taxa de ocupação fica muito elevada e chega a 87%.Também podemos observar que essa atividade também gera sobrecarga ainda maior na taxa de ocupação da soldagem que atinge 96%.Finalmente a entrada de mais um auxiliar no processo não foi suficiente para se ter um aumento na quantidade de elementos processados ao final do período simulado de 8 horas que corresponde ao tempo trabalhado na realidade, cabe se fazer uma análise de viabilidade econômica se vale a pena investir na contratação de mais um auxiliar, já que a quantidade de elementos processados permaneceu em 26 unidades.

6.5. Cenário 5 (dois auxiliares)

No quinto cenário tem-se o acréscimo de um auxiliar no processo, este cenário foi simulado para que se pudesse testar todas as alternativas de combinações de recursos possíveis. Este cenário não causou nenhuma alteração no desempenho do processo, a única melhoria que se pode observar foi a taxa de ocupação e o tempo de fila da atividade que utiliza este recurso que é a limpeza, isto se compararmos com o cenário atual, onde não foi feita nenhuma alteração no sistema simulado. Aparentemente o investimento na contratação de mais um auxiliar não vale a pena já que ao final das 8 horas trabalhadas a simulação mostrou que a quantidade de elementos processados foi a mesma que a do cenário atual do processo onde não se tem gastos extras com contratações.

7. Interpretação dos Resultados Obtidos

A interpretação dos resultados é crucial para compreender plenamente os dados obtidos no estudo. Nesta seção, apresenta-se os achados deste trabalho de acordo com os objetivos de pesquisa propostos tais como encontrar o gargalo do processo, melhoria do processo, otimização de recursos e consequentemente de custos. A ideia é identificar padrões, correlacionar evidências e discutir as significâncias estatísticas encontradas.

Figura 9: Resultados Obtidos Na Simulação

	cenário 1	cenário 2	cenário 3	cenário 4	cenário 5
Número de replicações	100	100	100	100	100
Tempo de simulação Total (Hrs)	8	8	8	8	8
Tempo de fila recebimento (Hrs)	2,56	1,79	1,79	1,86	2,56
Taxa de ocupação no recebimento	53%	73%	73%	71%	53%
Taxa de ocupação traçagem	32%	71%	71%	67%	32%

Tempo fila traçagem (Hrs)	2,6	1,8	1,8	1,9	2,6
Taxa de ocupação corte	14%	33%	33%	31%	14%
Tempo de fila corte (Hrs)	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Taxa de ocupação limpeza	55%	99%	99%	87%	52%
Tempo de fila limpeza (Hrs)	0,00	0,91	0,91	0,00	0
Taxa de ocupação acoplamento	15%	43%	43%	49%	15%
Tempo fila acoplamento 1(Hrs)	0	0	0	0	0
tempo fila acoplamento 2(Hrs)	3,5	3,1	3,1	2,9	3,5
tempo fila acoplamento 3(Hrs)	2,6	1,8	1,8	1,9	2,6
taxa de ocupação soldagem	66%	96%	96%	96%	66%
Tempo de fila soldagem (Hrs)	0,0	1,9	1,9	2,2	0
Taxa de ocupação inspeção	52%	75%	75%	75%	52%
Tempo de fila inspeção (Hrs)	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
Número de peças processadas	18	26	26	26	18

Fonte: Autoria Propria (2024)

Após o teste dos 5 cenários, pôde-se **identificar o gargalo** do processo de produção dos spools que eram feitos na empresa está nas atividades que dependem do caldeireiro como recurso principal, as atividades de recebimento, traçagem e acoplamento tem os maiores tempos de fila o que comprova que para o cenário atual são as que limitam o processo . A identificação do tempo de fila nas atividades e a taxa de ocupação dos recursos nos deram a possibilidade de se projetar consequentemente um mix de mão de obra ideal para a realização das atividades em um tempo mínimo e a um custo mínimo. As principais observações com os resultados obtidos foram as seguintes:

- No cenário atual (um caldeireiro, um soldador e um auxiliar) a empresa tem a capacidade de processar 18 peças, porém se observarmos os tempos de fila das atividades que dependem do caldeireiro (recebimento, traçagem e acoplamento) são muito altos.
- No cenário 2 (dois caldeireiros, um soldador e um auxiliar) a quantidade de peças processadas aumenta para 26, e as taxas de ocupação de praticamente todos os envolvidos é alta o que garante que ninguém fica ocioso.
- No cenário 3 (dois caldeireiros, dois soldadores e um auxiliar) temos a mesma quantidade processada do cenário anterior, porém o gasto referente a mão de obra é bem maior visto o aumento deste recurso.
- No cenário 4 (dois caldeireiros, dois soldadores e dois auxiliares) o tempo de fila da limpeza que é a atividade que o auxiliar executa é nulo, porém isto não gera aumento de peças processadas, o que não é vantajoso já que os gastos de mão de obra aumentaram ainda mais.
- No cenário 5 (um soldador, um caldeireiro e dois auxiliares) observa-se diminuição de peças processadas, a identificação do tempo de fila nas atividades que o caldeireiro executa afirma que quando o outro caldeireiro foi introduzido no processo a quantidade de peças processadas aumentou e consequentemente as filas diminuíram. Outra observação muito importante foi a taxa de ocupação da equipe que antes do segundo caldeireiro entrar no processo a ociosidade do auxiliar e do soldador eram grandes já que as taxas de ocupação deles era respectivamente pequena 55% e 66% respectivamente.

Ao analisar os cenários apresentados, a conclusão é que o cenário 2 se destaca como o mais vantajoso. Esse cenário permite que a empresa processe 26 peças, um aumento significativo em relação ao cenário atual, que processa apenas 18. Além disso, as taxas de ocupação estão altas para todos os envolvidos, o que sugere uma melhor utilização dos recursos humanos e diminui o risco de ociosidade. Os tempos de fila nas atividades que dependem do caldeireiro reduzem, resultando em um fluxo de trabalho mais eficiente. Nos outros cenários, embora alguns aumentem o número de peças processadas, como no cenário 3, isso é acompanhado por um aumento significativo no custo da mão de obra sem gerar benefícios proporcionais. O cenário 4 apresenta um tempo de fila nulo para a limpeza, mas isso não se traduz em um aumento de produção, tornando-o menos vantajoso devido ao alto custo. Por fim, o cenário 5 resulta em redução das peças processadas, o que demonstra uma piora na eficiência. Portanto, o cenário 2 oferece um equilíbrio entre produtividade e custos, otimizando a operação sem gerar despesas excessivas, tornando-se a melhor opção para a empresa no contexto analisado.

7. Conclusão

As simulações dos cenários com o auxílio da ferramenta jaamsim foram de grande valia para a melhoria do processo de fabricação de spools, já que é possível aproveitar a vantagem de se simular uma condição de um ambiente sem que esta venha sofrer interferências externas ou até mesmo sem que o sistema precise ser parado para se alterar algum parâmetro.

Dentre os cenários testados, o cenário 2 se mostrou o mais interessante para a organização, trazendo mais eficiência global, aumento de produtividade e redução de custos. Assim, foi possível concluir que para o sistema simulado com as condições e os parâmetros utilizados, apenas o investimento na contratação de um recurso, que é o caldeireiro, trará melhoria significativa na quantidade de itens processados ao final do período estabelecido que era de 8 horas diárias. Isso devido à melhora na capacidade de processamento das atividades que dependem diretamente do caldeireiro como recurso principal de mão de obra. Então, recomenda-se que para a melhoria da produtividade do sistema simulado seja feita a contratação de outro caldeireiro já que a simulação dos cenários testados mostrou que essa é a opção que implica em um sistema mais equilibrado, com o mínimo de investimento possível.

Para trabalhos futuros, pretende-se refazer estas simulações com o uso de dados dos tempos de estoque de matérias-primas. Além disso, pretende-se realizar mais replicações para obter valores mais confiáveis.

8. Referências Bibliográficas

ROCHA, R. F. M. Modelagem Matemática do Spool 3D em Elementos Finitos. 2017. 40 f. Monografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Pedro C. Silva. Tubulações industriais. Cálculos. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 9º Ed. 1999. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC050/silva-telles-tubulac%C3%B5es-industriais-C%C3%A1lculo.pdf>. Acesso em 30 de out. 2022.

DE AZEVEDO, Eduardo Chamusca. Análise da estratégia de pré-fabricação de “Spools”, e estudo sobre melhor forma de implementação local. Estudo de Viabilidade técnica e econômica para a implementação de uma planta de fabricação de Spools própria contra subcontratação direta. Disponível em <http://iepuc.puc-rio.br/dados/files/185696-1-Eduardo-Chamusca.pdf>. Acesso em 30 de out. De 2022.

LINHARES, Thiago. Simulação De Variações Na Garantia Da Qualidade Geométrica De Tubulações Industriais, Florianópolis, 2020.

Disponível:<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/220505/PEMC2123-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso em 30 de out. de 2022

Santos, Renato de Marchi Vieira, D. et al. Modelagem e Simulação de Processos. Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo A, 2022.<https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786556903422/pageid/12>

Gigliotti, M. Combustível para Crescer. Petrobrás Magazine. n. 63. Rio de Janeiro: Petrobras, 2012. Disponível em <http://www.petrobras.com/pt/magazine/magazine63.htm>. Acesso em 14 de mai . de 2024.

SCHIAVI, M. T. Cenário petrolífero: sua evolução, principais produtores e tecnologias. Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação, Campinas, SP, v.13, n.2, p.259-278, maio/ago. 2015. ISSN 1678-765X. Disponível em: [Link text](<http://periodicos.bc.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/2104>). Acesso em: 31 maio 2015.

Canato, J. V. M. ANÁLISE MULTICRITÉRIO À DECISÃO NA PRIORIZAÇÃO DE EXECUÇÃO DE PROJETOS DE FABRICAÇÃO DE TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS.<https://app.uff.br/riuff/handle/1/30740> Acesso em 14 de mai.de 2024

Campos, Rafael B. 2013. “Reconciliação de dados aplicado a um sistema de compressão de gás em plataformas offshore.” Pantheon Repositório Institucional da UFRJ <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/22183>. acesso em 17 de maio de 2024

GREGÓRIO, Gabriela F P.; LOZADA, Gisele. Simulação de sistemas produtivos. Grupo A, 2019. E-book. ISBN 9788595029194. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595029194//>. Acesso em: 22 mai. 2024.

LEAL, F.; ALMEIDA, DA de; MONTEVECHI, J. A. B. Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual Para a Simulação através de elementos do IDEF. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, v. 40, p. 2503-2514, 2008.

Secchi, P. A. (1995). Modelagem e Simulação de Processos. (D. d. Química, Ed.) Rio Grande do

Sul

STHDA, One-Sample t-Test in R. Disponível em <http://www.sthda.com/english/wiki/one-sample-t-test-in-r>. Acesso em: 16 ago. 2023.:

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações São Paulo, Ed. Dos Autores, 2006.

CAMPOS, A. L. N. **Modelagem de processos com BPMN**. 2. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2014. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 16 jul. 2024.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Usando o ARENA em simulação**. 6. ed. Belo Horizonte: Falconi, 2000. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 16 jul. 2024.

Graças, Alex Pinheiro das. Suporte Automatizado para Construção de Modelos Conceituais Bem Fundamentados. 2010. Dissertação (Mestrado em Informática) – Departamento de Informática, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

SILVA, Adriana da et al. Ensino e aprendizagem vivencial em Engenharia: simuladores, jogos, projetos interdisciplinares e ambientes de aprendizagem a distância. In: OLIVEIRA, Vanderli Fava de; CAVENAGHI, Vagner; MÁSCOLO, Francisco Soares (orgs.). **Tópicos Emergentes e Desafios Metodológicos em Engenharia de Produção: Casos, Experiências e Proposições**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2011. p. 251-312.

TELLES, Pedro Carlos Da Silva. Tubulações Industriais: materiais, projeto e montagem. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1993.

MATTOS, Viviane Leite Dias de; AZAMBUJA, Ana Maria Volkmer de; KONRATH, Andréa C. Introdução à Estatística - Aplicações em Ciências Exatas. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2017. E-book. ISBN 9788521633556. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521633556/>.

SYBS. Fabricação de Spools. Disponível em: <https://www.sybs.com.br/tubulacao-industrial/fabricacao-de-spools/>. Acesso em: [15 janeiro 2024].

VIEIRA, Sônia. Estatística para a Qualidade . 3ª edição. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2014. E-book. pág.183. ISBN 9788595156531. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595156531/>. Acesso em: 05 janeiro. 2024.