

A modelagem de processos na tomada de decisão em fábrica de dutos flexíveis

Carlos Adriano Arruda Teixeira

Mestrado Profissional em Sistemas Aplicados a Engenharia e Gestão pelo IFF
Engenheiro de Desenvolvimento do Produto do National Oilwell Varco
E-mail: carlosadrianotex@hotmail.com

Simone Vasconcelos Silva

Professora Titular do IFFluminense
Pós-Doutorado em Engenharia/Modelagem Computacional pela UERJ
Doutora em Computação pela UFF
E-mail: simonevsinfo@gmail.com

Recebido: 07 fev. 2023

Aprovado: 10 mai. 2023

Resumo: O objetivo deste trabalho é modelar o processo de manufatura de um componente específico (carcaça) para um tipo de duto flexível, de forma a identificar a ocorrência de desvios de qualidade durante a sua fabricação, e fornecer auxílio à tomada de decisão sobre quais ações devem ser executadas para evitar e/ou corrigir esses desvios. No desenvolvimento do estudo, foi utilizada a notação BPMN (*Business Process Model and Notation*) para a modelagem do processo e método multicritério para auxílio à tomada de decisão. Os resultados obtidos foram satisfatórios e podem contribuir para implementação de melhorias no processo para a detecção de falhas e a minimização de prejuízos oriundos de decisões equivocadas.

Palavras-chave: Modelagem de Processos. Dutos Flexíveis. Decisão.

Abstract: The objective of this paper is to model the manufacturing process of a specific component (carcass) for a flexible duct type, in order to identify the occurrence of quality deviations during its manufacture and provide decision-making assistance on what actions should be taken to avoid and/or correct such deviation. In the development of the study, the BPMN (Business Process Model and Notation) notation was used for the process modeling and the multicriteria method to aid decision-making. The results obtained were satisfactory and can contribute to the implementation of improvements in the process for detecting failures and minimizing losses arising from mistaken decisions.

Keywords: Process Modeling. Flexible Ducts. Decision.

Resumen: El objetivo de este trabajo es modelar el proceso de fabricación de un componente específico (carcasa) para un tipo de tubería flexible, con el fin de identificar la ocurrencia de desviaciones de calidad durante su fabricación, y brindar apoyo para la toma de decisiones sobre qué acciones se deben tomar para evitar y/o corregir estas desviaciones. En el desarrollo del estudio se utilizó la notación BPMN (Business Process Model and Notation) para modelar el proceso y el método criterio múltiple para ayudar a la toma de decisiones. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios y pueden contribuir a la implementación de mejoras en el proceso de detección de fallas y minimización de pérdidas derivadas de malas decisiones.

Palabras clave: Modelado de Procesos. Tubos Flexibles. Decisión.

Introdução

Conforme dados da Agência Nacional de Petróleo (ANP), referentes ao ano de 2017, a produção de petróleo no Brasil atingiu 2,5 milhões de barris por dia, enquanto a produção de gás natural atingiu 103 milhões de metros cúbicos por dia (m³d). Nesse contexto, 95% do total do petróleo e 83% do de gás natural produzido no país foi oriundo dos campos marítimos, a partir de seus 746 poços (OLIVEIRA, 2018).

Segundo Martins (2011), um sistema para a exploração de petróleo *off-shore* consiste em um conjunto de equipamentos de uma especificidade complexa, os quais podem ser resumidos basicamente em quatro grupos:

- (i) as linhas - são dutos de transferência do produto do poço até a unidade de produção;
- (ii) os poços - provêm o acesso ao reservatório subterrâneo de hidrocarboneto;
- (iii) os equipamentos submarinos - auxiliam, monitoram e controlam o processo de elevação dos fluidos; e
- (iv) as unidades de produção - compõem a poção mais visível do sistema *off-shore*, situando-se na superfície, em locais de diferentes profundidades de lâmina d'água.

Ainda segundo Martins (2011), os dutos podem ser subdivididos em linhas rígidas ou linhas flexíveis, e estima-se que, do custo agregado para o desenvolvimento de um campo petrolífero submarino, 25% advenha dos dutos flexíveis.

O avanço tecnológico em torno da estrutura dos dutos flexíveis influenciou a viabilização da exploração de óleo e gás em águas profundas, pois quanto maior a profundidade, maior a pressão externa aplicada, assim como, maiores os esforços oriundos de carregamentos ambientais, exigindo melhores propriedades mecânicas das linhas e impactando no custo das mesmas. Devido à tal complexidade, a estrutura do duto flexível precisa ter um controle de qualidade rigoroso. Por isso, as indústrias fabricantes deste tipo de produto têm um grande desafio para garantir a qualidade de construção, de forma a garantir que todas as especificações do produto sejam atendidas.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é propor uma modelagem do processo de manufatura de um componente específico (carcaça) para um tipo de duto flexível, de forma a identificar a ocorrência de desvios de qualidade durante a sua fabricação e fornecer auxílio à tomada de decisão sobre quais ações devem ser executadas para evitar e/ou corrigir esses desvios. Para a modelagem do processo foi utilizada a notação BPMN

(*Business Process Model and Notation*) e para priorização das tratativas de desvios foi utilizado o método multicritério AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

Este trabalho se justifica devido ao suporte à tomada de decisão no processo de fabricação de dutos flexíveis, apontando para as ações que devem ser consideradas quando detectada a ocorrência de desvios. Após a identificação e correção dos desvios, é possível garantir a uniformidade do padrão de qualidade dos produtos fabricados, prezando pela satisfação dos clientes e aumentando a competitividade no mercado.

Revisão da literatura

A classificação dos dutos flexíveis pode ser dada a partir da sua construção tubular ou de sua função (LOPES, 2013). O duto flexível abordado neste artigo é conhecido como *unbonded pipe*, ou seja, linha não colada. Esse nome deriva de sua estrutura, que por sua vez é composta por camadas poliméricas e metálicas, intercaladas entre si, de forma a permitir um movimento relativo entre essas camadas, fornecendo assim, a adequada flexibilidade duto.

De acordo com a Petrobras (2004), as camadas típicas que compõem um duto flexível são: carcaça, barreira de pressão, armadura de pressão, Armadura de tração, isolamento térmico, anti-desgaste, fita ABC e capa externa. Cada camada do duto flexível é responsável por exercer uma função principal, porém todas as camadas estão susceptíveis a sofrer vários tipos de carregamento simultâneos, tais como: trações, pressões (internas, externas e diferencial), fadiga e compressão.

A fabricação de duto flexível é composta por vários processos, onde cada processo é relacionado a uma das camadas que compõem o produto final. Em cada processo existe uma série de fatores que pode contribuir para que haja um desvio de qualidade na produção, gerando um desvio de fabricação, o qual deve ser rapidamente identificado e avaliado. Na identificação, verifica-se se a ocorrência se configura como desvio e, em seguida, avalia-se quais ações devem ser tomadas e identifica-se o responsável por conduzir as mesmas. Considerando que a manufatura de um produto altamente tecnológico possui alto custo agregado aos seus processos de fabricação, o consumo de tempo para tomada de decisões pode ser excessivamente oneroso e causar grandes prejuízos ao negócio (SIMÕES, 2013).

Ainda de acordo com Simões (2013), para garantir e controlar a estabilidade do processo de fabricação de duto flexível, evitando elevado consumo de tempo durante a tomada de decisão, diferentes critérios de aceitação devem ser avaliados, dentre eles podem ser citados as tolerâncias geométricas de fabricação, assim como os padrões de caracterização de anomalias (marcas, pigmentos, ranhuras, entre outros).

Durante a fabricação de uma linha de duto flexível é um item normativo, segundo a norma 17J API (1999), realizar a inspeção visual ao longo do processo, que normalmente é feito em pontos estratégicos por meio de um ou mais operadores treinados. Além disso, a matéria-prima deve ser inspecionada, durante o recebimento e o carregamento do material nas bobinas. Tais procedimentos têm o propósito de suprimir a ocorrência de não conformidades durante a fabricação dos produtos.

Ainda de acordo com a mesma norma, durante o processo de manufatura pode ser necessário executar a tratativa de eventuais não conformidades em uma linha de produção, onde duas medidas devem ser adotadas:

- (i) buscar a causa raiz da ocorrência e mitigar a fonte do problema, e
- (ii) avaliar a falha no produto e tomar uma decisão.

Modelagem de processos

Para um melhor entendimento dos processos, é necessário fazer uso de ferramentas que auxiliem na compreensão das etapas que constituem um modelo produtivo. A modelagem de processos é caracterizada pelo seu caráter multidisciplinar, ao empregar diferentes habilidades e técnicas na compreensão, comunicação e gestão dos componentes dos processos de negócios. O nível de detalhamento utilizado na modelagem pode variar, desde uma visão contextual genérica até uma visão minuciosa, a depender dos objetivos definidos no início da modelagem (ABPMP, 2020).

Segundo Figueiredo (2018), para um gerenciamento efetivo dos processos de negócio é importante empregar técnicas adequadas para a modelagem desses processos, de modo que se represente de maneira correta e concisa as particularidades do negócio, contribuindo para que os integrantes do ambiente organizacional tenham uma visão clara dos procedimentos internos do local onde trabalham.

Mückenberger et al (2013) afirmam que para realizar a modelagem de um processo é preciso que suas atividades construtivas sejam detalhadas, podendo conter um

ou mais diagramas, além de informações sobre os objetos dos processos, suas inter-relações, sua relação com o ambiente, comportamento e desempenho desses processos.

A notação BPMN (*Business Process Model and Notation*), desenvolvida pela OMG (*Object Management Group*), tem como objetivo preencher uma lacuna entre o projeto e a implementação dos processos de negócios por meio de um padrão que seja facilmente compreendido pelos usuários do negócio, se consolidando como importante ferramenta de comunicação para as organizações (ABPMP, 2020).

BPMN é um padrão de representação gráfica que permite a modelagem de fluxos de processos de forma simples e clara, facilitando o entendimento dos usuários. Os elementos principais da notação BPMN estão divididos em quatro categorias (AMARILLA e NETO, 2018): objetos de fluxo (atividades, eventos e decisões), artefatos (objetos de dados, anotações e grupos), objetos de conexão (fluxo de mensagens, fluxo de sequência e associação) e *swimlanes* (piscinas e raias).

Auxílio multicritério à decisão

Para Oliveira, Miranda e Amaral (2016), a tomada de decisão é algo crucial para todas as organizações. De acordo com Bhushan e Rai (2004), a tomada de decisões envolve essencialmente a geração de um conjunto de alternativas e a escolha da alternativa mais adequada para a execução, respondendo as seguintes questões: quais decisões devem ser tomadas? quem as executarão? quais recursos deverão ser alocados e como? As técnicas existentes de resolução de problemas baseadas em princípios matemáticos sólidos requerem problemas sistemáticos e bem formados.

O Auxílio Multicritério à Decisão (AMD) objetiva fornecer ao tomador de decisão, ferramentas que o auxiliem no tratamento de um problema decisório, no qual, vários critérios e pontos de vista devem ser considerados, de forma a atender, simultaneamente e da melhor forma possível, vários objetivos diferentes (CAMPANHÃO et al., 2014; FREITAS e COSTA, 2012; FREITAS et al., 2005).

Para Simões (2013), a utilização das abordagens multicritério tem vantagens como: definir e evidenciar a responsabilidade do tomador de decisão; melhorar a transparência do processo decisório; criar consenso no grupo multidisciplinar; prover o diálogo entre analistas e tomadores de decisão; facilitar a inclusão de incertezas aos dados sobre cada ponto de vista; interpretar as alternativas, conciliando objetivos.

Segundo Martins e Coelho (2012), o AMD se molda de maneira adequada às situações em que os dados relacionados ao problema de decisão podem ser quantificados por medição ou estimativa, e também podem ser de natureza qualitativa.

Levar em conta cada parâmetro na incerteza, de modo a chegar a uma estratégia racional para alcançar um objetivo, é uma tarefa difícil. A realização desta tarefa não pode ser baseada apenas na experiência e julgamento de alguém, especialmente se a escolha errada puder levar a efeitos desastrosos (BHUSHAN e RAI, 2004).

De acordo com Simões (2013), as principais dificuldades das metodologias de AMD são: (i) o problema pode estar sujeito a restrições, surgindo conflitos entre a maximização ou minimização dos objetivos; (ii) o nível de informações requeridas para modelagem do problema pode tornar-se demasiadamente grande; e (iii) o estabelecimento das metas a serem atingidas pode ser de grande complexidade.

O método AHP

Um dos principais fatores que justificam a implementação de um método multicritério para suporte à tomada de decisão em um processo produtivo é a redução do tempo para definir uma ação. Por meio de um apontamento estatístico, com base em prioridades, é possível estabelecer uma matriz de critérios que deve suportar os objetivos propostos. O método de AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é descrito como modelagem por meio de hierarquização de estruturas, onde uma árvore de decisão é construída a partir de critérios e alternativas para o processo (SAATY, 1994).

O método AHP é considerado adequado para chegar quantitativamente a uma decisão no domínio estratégico. Este fornece uma abordagem para a criação de soluções dos problemas de tomada de decisão, onde a justificativa econômica do tempo investido no processo de tomada de decisão se reflete nas soluções (BHUSHAN e RAI, 2004).

Segundo Saaty (1994), o modelo de AHP pode ser caracterizado como teoria de medição com base na avaliação de especialistas para apontamento das escalas de prioridade. Desta forma, por meio das prioridades pré-definidas, o modelo AHP é capaz de fazer comparações utilizando uma escala de relevância de critérios para apontar quantitativamente um objeto que se enquadra em determinado atributo. A técnica baseia-se numa matriz quadrada $n \times n$, onde as linhas e colunas correspondem aos n critérios

analisados para o problema em questão. Assim, o valor a_{ij} representa a importância relativa do critério da linha i face ao critério da coluna j .

Segundo Subramanian e Ramanathan (2012) a força principal do AHP é a sua capacidade de considerar opiniões subjetivas de tomadores de decisão. Esta característica se destaca por combinar com outras metodologias desenvolvidas para lidar com dados objetivos. Desta forma, o método AHP proposto por Saaty (1980) é muito popular e tem sido aplicado em uma ampla variedade de áreas, incluindo planejamento, seleção de uma melhor alternativa, alocação de recursos e resolução de conflitos.

Para Saaty (1991) e Costa (2006), o método AHP compreende quatro etapas: (i) organização da estrutura hierárquica por meio da identificação do foco principal, critérios (subcritérios) e alternativas, estabelecendo relações entre os participantes; (ii) aquisição dos dados e coleta de julgamentos de valor via comparação dos elementos par a par e estabelecimento das matrizes de comparações; (iii) análise das matrizes de comparações geradas para obtenção da prioridade de cada alternativa em relação ao foco principal; e (iv) análise dos indicadores de desempenho derivados.

De acordo com Martins (2017), os elementos de uma hierarquia para a resolução de problemas de decisão no AHP são: foco principal, conjunto de alternativas viáveis e o conjunto de critérios. Saaty (1980) definiu uma escala específica para padronizar os julgamentos de valor que capta a subjetividade natural existente em variáveis qualitativas. A Tabela 1 apresenta a escala de prioridades utilizada no método AHP.

Tabela 1 – Escala de prioridades do método AHP.

Grau	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra ou sua maior importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação a outra com mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários	Busca uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

A comparação par a par dos critérios, considerando o foco principal, propõe qual é o critério mais importante e qual a intensidade dessa importância através da escala de Saaty. As alternativas são comparadas duas a duas à luz de cada um dos critérios. Após a

estruturação das matrizes recíprocas, obtém-se o vetor de prioridades (pesos) a partir do cálculo do autovetor normalizado do máximo autovalor. Para obtenção do autovetor e do autovalor são utilizadas a Equação 1 e Equação 2.

$$Aw = \lambda_{\max} w \quad (1) \quad \lambda_{\max} = T.w \quad (2)$$

onde, A é a matriz de julgamentos; w é o autovetor referente aos pesos; λ_{\max} é o autovalor principal de A; e T é o somatório das colunas das matrizes.

Para calcular o autovetor de prioridades de uma matriz de comparações paritárias A, deve-se encontrar o vetor que satisfaça a Equação 1. Uma medida de consistência, chamada Índice de Consistência (IC) e representado na Equação 3, é utilizada para calcular o desvio de λ_{\max} em relação à n, uma vez que a utilização da escala para os julgamentos gera variações em a_{ij} , alterando λ_{\max} .

Inconsistências nas avaliações dos especialistas são comuns devido ao julgamento subjetivo, portanto a Razão de Consistência (RC) é utilizada para analisar a consistência dos julgamentos. A RC, representada pela Equação 4, é a medida de avaliação dos julgamentos que fornece a probabilidade de estes terem sido realizados ao acaso.

$$IC = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (3) \quad RC = IC / IR \quad (4)$$

onde, n é a ordem da matriz, e IR é o Índice Randômico.

Para Saaty (1991), o IR é o índice de consistência de uma matriz recíproca gerada randomicamente, variando de acordo com a ordem da matriz de 1 a 9 (Tabela 2).

É possível avaliar a coerência do julgamento da seguinte forma (SAATY, 2001):

- $RC \leq 0,1$ consiste em um julgamento coerente, premissa básica do método em relação a análise de coerência, ou seja, avaliação satisfatória;
- $0,1 < RC < 0,2$ consiste em um julgamento que apresenta incoerências, sugere que o especialista reveja seus julgamentos, analisando a matriz e melhorando a(s) comparação(ões) que esteja(m) inconsistente(s), mas não é obrigatória a alteração;
- $RC \geq 0,2$ consiste em um julgamento incoerente, onde as comparações pareadas geraram um alto índice de inconsistência, e os julgamentos devem ser refeitos.

Após a obtenção da consistência no julgamento são calculados os vetores de prioridades (pesos relativos de cada elemento) por meio da multiplicação das matrizes de prioridades, as quais consistem na soma ponderada da importância relativa de cada atributo pelo nível de preferência de determinada alternativa em relação ao respectivo

critério. No método AHP cada alternativa recebe uma pontuação através de uma função de valor aditiva, e as alternativas com maior valor são as preferíveis (SOUZA, 2013).

Tabela 2 – Índice de consistência aleatória.

Ordem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty (2001) e Saaty e Vargas (2012).

Metodologia

Neste artigo, primeiramente, foi realizada uma revisão da literatura e uma pesquisa de trabalhos relacionados ao tema abordado. Para tal pesquisa foi utilizada a base *Scopus* com as seguintes palavras-chaves: “desvio de fabricação”, BPMN, AHP, qualidade e “processo de manufatura”. E como resultado não foram encontrados estudos que abordem a modelagem de processos como auxílio na tomada de decisões em casos de desvios de qualidade provenientes do processo de fabricação de dutos flexíveis.

Após a revisão bibliográfica foi selecionada uma organização que possua como uma de suas atividades a fabricação de dutos flexíveis, de forma que esta pudesse aplicar a metodologia proposta neste trabalho. Após a revisão bibliográfica e a seleção da organização, a metodologia segue dividida em três etapas:

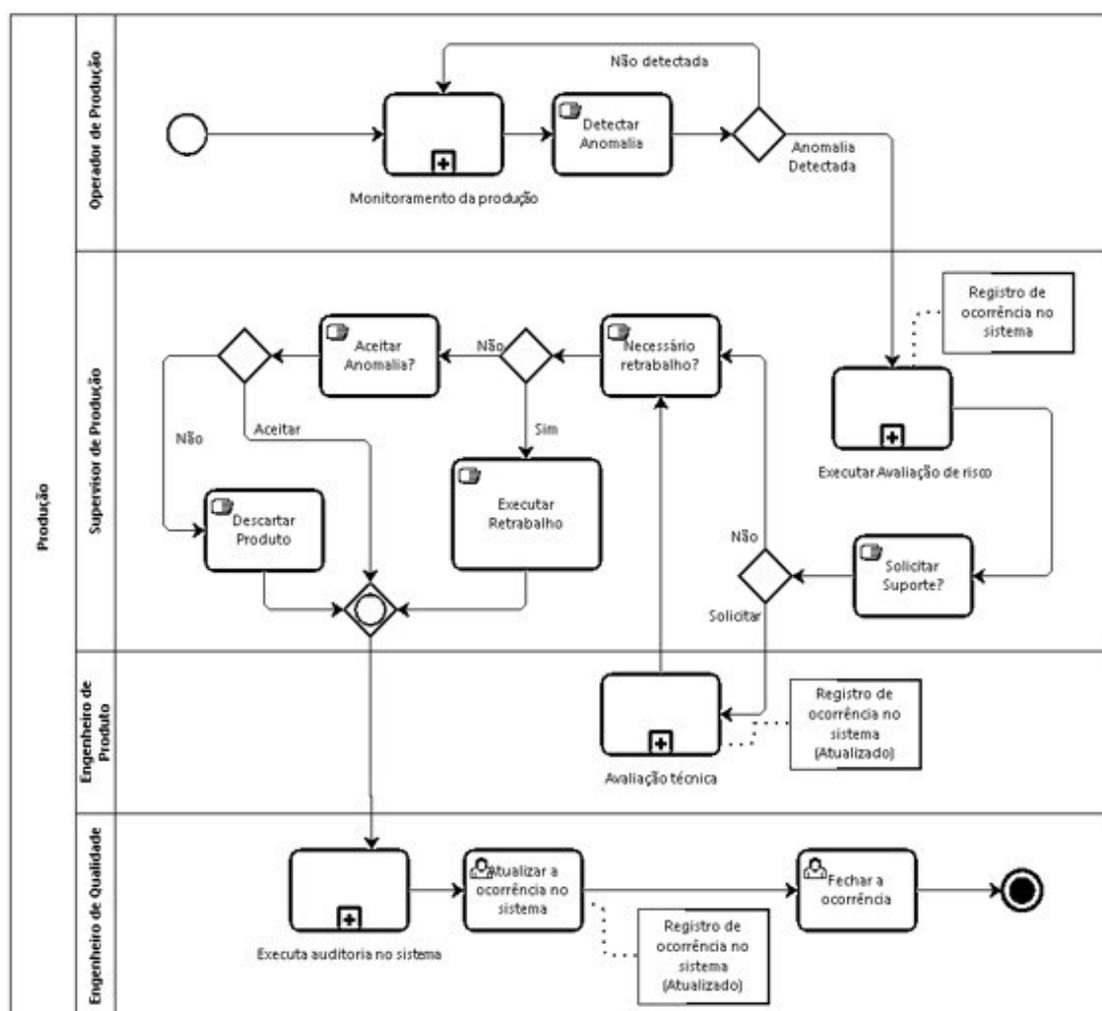
- Etapa 1 – Identificação da etapa do processo: compreende a identificação da etapa do processo propriamente dito, assim como dos possíveis desvios, métodos de tratativa destes desvios (tipo de falha) e tomada de decisão após avaliação de risco (decisão e procedimento);
- Etapa 2 – Modelagem do processo: para a modelagem do processo se utilizou a notação BPMN, pois a mesma é facilmente compreendida pelos envolvidos, facilitando a compreensão e a comunicação dos processos modelados;
- Etapa 3 – Priorização das tratativas dos desvios por meio do método AHP: aborda a definição dos pesos dos critérios a partir de consulta à especialistas no processo de fabricação de carcaça de duto flexível, e o estabelecimento da matriz de priorização para a aplicação do método.

Resultados e discussões

Um estudo empírico para a implantação e validação da metodologia proposta foi realizado em uma fábrica de dutos flexíveis de uma das principais organizações deste seguimento no mercado, tal organização se localiza no estado do Rio de Janeiro. Desta forma, uma das etapas do processo de manufatura de uma linha de duto flexível foi escolhida como alvo de estudo. A etapa em questão foi a confecção da carcaça, uma vez que a fabricação do duto se inicia por este processo.

Por meio de uma série de entrevistas com os principais *stakeholders* do processo de fabricação da carcaça, na organização estudada, foi possível elaborar a modelagem do processo “Identificação e tratativa de não conformidades” da etapa “Confecção da carcaça de dutos flexíveis”, e a partir da modelagem foi possível identificar as etapas críticas do processo. A Figura 1 representa a modelagem deste processo, apresentando os atores do processo como suas funções específicas e as atividades realizadas.

Figura 1 - Modelagem de processo “Identificação e tratativa de não conformidades”.



Fonte: Elaboração própria.

Conforme observado na Figura 1, durante o processo produtivo na indústria de dutos flexíveis, têm-se como principais atores:

- Operador da linha de manufatura: responsável por executar as tarefas necessárias para manter a linha funcionando em modo de produção contínua até a conclusão da rodada de produção, além disso, tem como função, inspecionar a camada que está sendo fabricada em relação à ocorrência de desvios, assim sendo, o operador é o principal agente do processo, atuando na identificação dos desvios;
- Supervisor de produção: tem como função validar a ocorrência identificada pelo operador, além de abrir a ocorrência no sistema e fazer a avaliação de risco do desvio. Caso o supervisor tenha necessidade de suporte durante a fase de avaliação e tomada de decisão, ele pode solicitar uma análise de engenharia que será encaminhada para um engenheiro de produto;
- Engenheiro de produto: após disposição final da engenharia, uma ação é validada e executada em relação ao produto;
- Engenheiro de qualidade realiza a auditoria do fluxo e encerra a ocorrência.

De acordo com a modelagem do processo, as etapas de detecção de anomalia e avaliação de risco foram apontadas como as principais etapas suscetíveis à ocorrência de possível erro humano.

Após a identificação das etapas críticas do processo, por meio de entrevistas com os principais *stakeholders* do processo de fabricação da carcaça, foram definidas duas linhas de ação que podem ser implementadas para otimizar a identificação de falhas e tomada de decisões: (i) elaboração de um catálogo de imagens e detalhamento das características geométricas abrangendo os principais modos de falha e disponibilizar para referência dos operadores; e (ii) desenvolvimento de ferramenta de suporte à tomada de decisão com base em estatísticas e parâmetros das não conformidades.

Alguns critérios relevantes foram levantados e definidos os seus pesos. Apesar de vários modos de falha poderem ocorrer durante o processo de manufatura da carcaça de um duto flexível, este trabalho optou por aplicar a técnica de multicritério em apenas seis tipos de não conformidades: três mecânicas (arranhões, trincas e marcas de pressão) e três geométricas (passo, diâmetro externo e ovalidade). Assim, os critérios utilizados neste trabalho são os seis tipos de não conformidades. E para efeito de distribuição de pesos, comparações par a par foram realizadas para todos os critérios pré-estabelecidos, a partir da escala de prioridades descrita na Tabela 1.

Após a definição de pesos e a adoção de critérios pelo avaliador foi gerada a matriz de critérios, como resultado da aplicação do método AHP. Tal avaliador é um especialista do processo de fabricação da carcaça, exercendo a função a mais de quatro anos na organização foco deste estudo. Na matriz de critérios elaborada (Tabela 3) observa-se que os critérios foram divididos em critérios de 1º e 2º grau. Após estabelecido o índice acumulativo através desta matriz de critérios, verificou-se o Índice de Consistência (IC), por meio da Equação 3. Por fim, através da Equação 4 foi calculado a Razão de Consistência (RC) do julgamento do avaliador.

Tabela 3 – Matriz de critérios AHP. Fonte: Elaboração própria.

Cr. 1º	Cr. 2º	Defeitos mecânicos			Defeitos geométricos			Ind. Cumulativo	% Priorização
		A	T	M	P	DE	O		
Def. mec.	A	1	1	1	2	2	2	1,0	17
	T	1	1	6	8	8	7	2,5	41
	M	1	1/6	1	5	5	5	1,1	19
Def. geo.	P	1/2	1/8	1/5	1	7	5	0,8	13
	DE	1/2	1/8	1/5	1/7	1	3	0,4	6
	O	1/2	1/7	1/5	1/5	1/3	1	0,3	4
Total		4,5	2,5	8,6	16	23	23	6	100

Legenda: Arranhões (A), Trincas (T), Marcas de pressão (M), Passo (P) Diâmetro externo (DE), Ovalidade (O).

$$IC = \frac{7,04-6}{6-1} = 0,21 \quad RC = \frac{0,21}{1,24} = 0,17$$

Pode-se observar que o valor obtido para a razão de consistência calculada para a matriz de critérios (Tabela 3) obteve resultado dentro dos limites $0,10 < RC < 0,20$, o qual de acordo com Saaty (2001) apresenta incoerências, podendo o especialista alterar ou não os seus julgamentos. Neste trabalho optou-se por manter o julgamento do especialista devido indisponibilidade de tempo do mesmo para rever seus julgamentos.

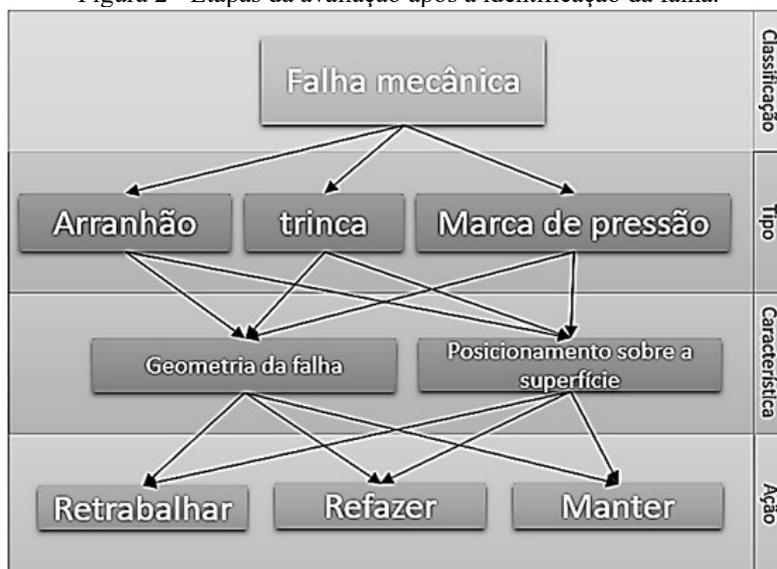
Como pode ser observado pela matriz de critérios (Tabela 3), os desvios de qualidade do tipo mecânico (Arranhões, Trincas e Marcas de pressão) são mais relevantes em termos de criticidade, conforme observado pela coluna de percentual de priorização, portanto apenas estes serão abordados a fim de demonstrar a aplicação do método AHP para suporte à tomada de decisão.

Para efetuar uma boa análise das não conformidades durante a produção de dutos flexíveis e também minimizar o risco de falhas do produto final durante operação, o tomador de decisão necessita de dados precisos e evidências registradas para que sejam

possíveis a análise detalhada e a correta avaliação de falhas de produção. Por isso, para cada desvio de fabricação identificado, uma característica física é definida para que seja possível estabelecer a ação que será indicada pelo tomador de decisão.

Para uma adequada definição do procedimento, vários fatores devem ser levados em consideração. Para este estudo, dois fatores foram considerados relevantes: a geometria da falha e o posicionamento da falha sobre a superfície. Esses dois parâmetros foram os utilizados no método AHP para a tomada de decisão após a identificação da falha, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 - Etapas da avaliação após a identificação da falha.



Fonte: Elaboração própria.

De acordo com as características geométricas de cada um dos tipos de defeito mecânico abordado neste trabalho, assim como, de seu posicionamento sobre a superfície da carcaça, uma avaliação específica foi executada a fim de definir uma ação. Ainda utilizando o método AHP, novas matrizes de critérios foram estabelecidas com foco na definição de ações sobre cada falha identificada. Uma ação foi definida por meio do conhecimento do tomador de decisões e do histórico das avaliações para definição do peso dos critérios. Assim, foi possível novamente apontar as ações mais recomendadas a depender do tipo de ocorrência: arranhão, trinca ou marca de pressão.

Como resultado (Tabela 4), no caso de arranhões e marcas de pressão, o retrabalho é fortemente recomendado, ou seja, possivelmente um polimento superficial da região afetada pode ser executado para eliminar o desvio do produto. Já no caso de trinca, o procedimento indicado seria refazer a camada ou eliminar a seção do produto.

Tabela 4 - Aplicação do método de priorização das ações. Fonte: Elaboração própria.

Arranhões	Retrabalhar	Refazer	Manter	%
Retrabalhar	1,00	7,00	8,00	79
Refazer	0,14	1,00	1,00	11
Manter	0,13	1,00	1,00	10
Trincas	Retrabalhar	Refazer	Manter	%
Retrabalhar	1,00	1,00	1,00	34
Refazer	1,00	1,00	9,00	58
Manter	0,17	0,11	1,00	7
Marcas de Pressão	Retrabalhar	Refazer	Manter	%
Retrabalhar	1,00	5,00	7,00	72
Refazer	0,20	1,00	3,00	19
Manter	0,14	0,33	1,00	8

Considerações finais

Por meio dos resultados obtidos pelo estudo foi possível caracterizar um modo de falha exemplo e modelar o processo de identificação de falhas durante a etapa de fabricação da carcaça de um duto flexível. A modelagem do processo explicitou as etapas do processo de identificação e avaliação de não conformidades, possibilitando o correto apontamento das etapas críticas que devem ter prioridade de atuação dos principais atores durante as tratativas de desvios de fabricação.

Para suporte à tomada de decisões foi utilizado o método AHP para definição das prioridades dos critérios e apontamento das ações. O sistema de priorização teve como escopo: definição dos parâmetros de identificação de um desvio de qualidade; classificação dos desvios por processo e por tipo; atribuição de peso ao tipo de desvio; apontamento de melhores soluções com base nos critérios definidos; padronização das decisões; redução do tempo de resposta; e minimização dos custos.

Como dificuldade da aplicação do método AHP pode-se relatar a falta de familiaridade do avaliador com a tarefa de atribuir pesos aos critérios definidos na matriz de prioridades. Esta dificuldade foi constatada por meio do valor obtido para a razão de consistência, o qual, segundo Saaty (2001), indica incoerências no julgamento. Desta forma, propõe-se como trabalho futuro que a avaliação seja refeita com outro avaliador, comparando o peso dado aos critérios e o novo RC encontrado, no intuito de melhoria da aplicação do método e obtenção de uma maior precisão nas priorizações resultantes.

Conclui-se que a modelagem de processo de identificação e tratativa de não conformidades da etapa de confecção da carcaça de dutos flexíveis foi suficiente para

demonstrar os pontos críticos durante as etapas de identificação e tratativas de desvios de qualidade. Da mesma forma, foi considerado viável a implementação do método de priorização AHP para suporte à tomada de decisão durante a tratativa de desvios de fabricação em uma fábrica real.

Referências

ABPMP – Association of Business Process Management Professionals. **BPM CBOK – Version 4.0. Portuguese Version.** Independently Published. 2020.

AMARILLA, R. S. D.; NETO, I., A. Análise comparativa dos principais processos de negócio de empresas do subsetor de edificações da construção civil. **Gestão e Produção**, v.25, n.2, p. 269-283. 2018. <http://doi.org/10.1590/0104-530x2406-16>

API - American Petroleum Institute. **Specification for Unbonded Flexible Pipe (API Specification 17J).** Washington D.C.: Techstreet. 1999.

BHUSHAN, N.; RAI, K. **Strategic decision making:** applying the Analytic Hierarchy Process. USA: Springer- Verlag London. 2004. http://doi.org/10.1007/978-1-85233-864-0_1

CAMPANHÃO, A. F.; FILHO, F. L. N. F.; SIQUEIRA, J. L. G.; SIQUEIRA, R. L. G.; DA HORA, H. R. M.; COSTA, H. G. Classificação multicritério dos portos de contêineres no Brasil. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, v. 2, n.1, p. 73–93. 2014. <http://dx.doi.org/10.7867/2317-5443.2014v2n1p073-093>

COSTA, H. G. **Auxílio multicritério à decisão:** método AHP. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2006.

FIGUEIREDO, L. R. **Mapeamento de modelos de processos de negócio para ontologias, incluindo sistema de consultas.** Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2018.

FREITAS, A. L. P.; COSTA, H. G. Development and testing of a multicriteria approach to the assessment of service quality: An empirical study in Brazil. **International Journal of Management**, v. 29, n. 2, p. 633-651. 2012.

FREITAS, A. L. P.; MARINHO, M. A. B. A.; MARGEM, F. M. Emprego do método ELECTRE TRI na classificação de hotéis. In **Anais do VIII Simp. Adm. da Produção, Logística e Operações Intern.** São Paulo, 2005. <http://doi.org/10.13140/2.1.4339.5526>

LOPES, D. G. **Avaliação das tensões residuais na montagem de conectores em armaduras de tração de dutos flexíveis.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica e Tecnologia de Materiais. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro, 2013.

MARTINS, G. A. **Modelo Fuzzy AHP-TOPSIS para avaliação e seleção de tecnologias de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis.** Dissertação de Mestrado em Metrologia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

MARTINS, M. A. de L. **Otimização da configuração de risers verticais complacentes**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Alagoas. Alagoas, 2011.

MARTINS, F. G., COELHO, L. S. Aplicação do método de análise hierárquica do processo para o planejamento de ordens de manutenção em dutovias. **Revista GEPROS**, v. 7, n. 1, p. 65-80. 2012. <https://doi.org/10.15675/gepros.v0i1.317>

MÜCKENBERGER, E., TOGASHI, G. B., PÁDUA, S. I. D., MIURA, I. K. Process management applied to the establishment of international bilateral agreements in a Brazilian public institution of high education. **Production**, v. 23, n. 3, p. 637–651. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132012005000076>

OLIVEIRA, N. **Produção de petróleo no Brasil cresce 10,9% em abril**. 2018. Disponível em <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2017-06/producao-de-petroleo-no-brasil-sobe-mais-de-10-em-abril> . Acessado em 10 de setembro de 2022.

OLIVEIRA, R. A., MIRANDA, I. P., AMARAL, J. P. S. Gestão da informação: o papel dos observatórios e turismo brasileiros para a tomada de decisão do setor público. **Marketing & Tourism Review**, v. 1, n. 2, p. 01-31. 2016. <https://doi.org/10.29149/mtr.v1i2.3837>

PETROBRAS. **O uso offshore de tubos flexíveis no Brasil**: apostila de tubos flexíveis e cabos umbilicais. Petrobras. Rio de Janeiro, 2004.

SAATY T. L. **The analytic hierarchy process**. McGraw-Hill. New York, 1980.

SAATY, T. L. **Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process**. v. 6. RWS Publications. Pittsburgh, 1994.

SAATY T. L. **Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world**. RWS Publications. Pittsburgh, 2001.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process**. 2 ed. Springer. New York, 2012.

SIMÕES, R. G. **Aplicação do ELECTRE TRI na classificação de fornecedores de indústria automotiva**. Dissertação de Mestrado em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia. Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda. 2013.

SOUZA, C.M.P. **Modelo de previsão de despacho de usinas termelétricas por meio do método multicritério AHP**. Dissertação de Mestrado Profissional em Administração. IBMEC, Rio de Janeiro. 2013.

SUBRAMANIAN, N., RAMANATHAN, R. A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. **International Journal of Production Economics**, v. 138, n. 2, p. 215–241. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.036>