

APLICAÇÃO DOS CONCEITOS LEAN NA MELHORIA DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE EQUIPAMENTOS OFFSHORE

¹Marcone Freitas dos Reis; ¹marconefreis11@gmail.com; ¹UNESA;
²Leticia Morgado da Silva; ²leticiamorgado93@gmail.com; ²UNESA

RESUMO: *Com o passar dos anos, a indústria de óleo e gás veio ganhando cada vez mais espaço, e hoje pode ser considerada essencial para a economia mundial, mesmo com os constantes novos desafios. Neste sentido, o trabalho em questão trata das melhorias alcançadas em uma empresa que fabrica equipamentos submarinos de produção de óleo e gás através da filosofia Lean Manufacturing, cujo principal objetivo é a eliminação de desperdícios através de uma série de conceitos e ferramentas como a metodologia 5S, os quadros Kanban, a filosofia Kaizen, o conceito de entrega Just In Time, entre outros. Ao aplicar corretamente os conceitos e ferramentas do Lean em sua forma de gestão, é possível constatar a otimização de processos, o que agrega valor para seus clientes (internos e externos), garante a satisfação do consumidor e de seus colaboradores, gerando um clima organizacional propício a novas mudanças de melhorias.*

PALAVRAS-CHAVE: *Lean Manufacturing, Melhoria Contínua, Produção, Equipamentos Offshore.*

ABSTRACT: *Over the years, the oil and gas industry has gained more and more space, and today it can be considered essential for the world economy, even with the constant new challenges. In this sense, the work in question deals with the improvements achieved in a company that manufactures subsea oil and gas production equipment through the Lean Manufacturing philosophy, whose main objective is the elimination of waste through a series of concepts and tools such as the 5S methodology, Kanban frameworks, kaizen philosophy, the concept of just in time delivery, among others. By correctly applying Lean's concepts and tools in its management form, it is possible to verify the optimization of processes, which adds value to its customers (internal and external), ensures the satisfaction of consumers and employees, generating an organizational climate conducive to new changes in improvements.*

KEYWORDS: *Lean Manufacturing, Continuous Improvement, Production, Offshore Equipment.*

1. Introdução

A indústria de óleo e gás passa por variações cíclicas do preço do petróleo desde seus primórdios e, com isto, sofre com a redução do lucro durante o período que o valor é mais baixo. Por isso, as empresas deste ramo sempre passaram por grandes reestruturações nas estratégias de exploração e produção com foco na redução de custos (PEDROSA e CORREIA, 2016).

Com o mercado cada vez mais competitivo e exigente, não apenas no setor de óleo e gás, como em outras empresas, notaram a importância da redução de custos dos seus produtos (SANT'ANA et al., 2019). Logo, é crescente o investimento em inovação dentro das indústrias para aumentar a capacidade de produção sem perder a qualidade nos seus processos e de forma que seja de baixo custo.

Com o passar dos anos, devido à imprevisibilidade e complexidade do trabalho, a indústria

offshore precisou reavaliar e atualizar os planejamentos e processos quanto a produção de seus equipamentos, a fim de manter-se competitiva no mercado, sem perder o foco na qualidade e na segurança.

Uma das maneiras que as empresas encontraram para reduzir custos e aumentar a qualidade de seus produtos foi por meio da utilização dos conceitos do *Lean Manufacturing*, ou Manufatura Enxuta, que é uma filosofia de gestão desenvolvida no século XX pela Toyota (OHNO, 1997; WOMACK e JONES, 1992; GHINATO, 2000).

Para Dennis (2008), a produção *Lean* é, antes de tudo, um sistema, ou seja, uma série integrada de partes com uma meta claramente definida. Portanto, além de atacar os desperdícios, e eliminar atividades sem valor agregado, o *Lean* também foca na melhoria da qualidade dos produtos e serviços, tal como na estabilidade dos processos, garantindo uma cultura de melhoria contínua.

A engenharia submarina é responsável por toda arquitetura e interação entre instalações e equipamentos para prover o escoamento da produção de petróleo do fundo do mar, sendo estes os alicerces primordiais do esquema estrutural que compõe seus sistemas hidráulicos e eletrônicos intercambiados, compondo uma rede, tendo por sua premissa fundamental o escoamento dos hidrocarbonetos desde o reservatório até a superfície (CALADO, 2017).

Diversos componentes fazem parte da construção *offshore*, sendo a árvore de natal molhada um dos principais. Segundo apresentado pela Petrobras (2015), a árvore de natal molhada (ANM) corresponde a um conjunto de válvulas operadas remotamente que controlam o fluxo dos fluidos produzidos ou injetados no poço. Quando a exploração de hidrocarboneto ocorre onshore (a nível do mar), ela é classificada como árvore de natal seca (ANS), e quando a exploração ocorre *offshore* (no fundo do mar) ela é classificada como árvore de natal molhada (GE REPORTS BRASIL, 2016).

A empresa objeto de estudo deste trabalho é responsável por fornecer diversos equipamentos submarinos para empresas de exploração de petróleo, e identificou a necessidade de reduzir o *lead time* durante o processo de produção. O processo de produção de um equipamento desse porte possui inúmeras etapas, sendo algumas de alta complexidade, o que acaba gerando desperdícios durante a produção. Esta situação acarreta interrupções nas linhas de montagem e na utilização de recursos em atividades que não agregam valor para o produto final.

Este trabalho tem como objetivo demonstrar como a metodologia *Lean*, seus princípios e ferramentas contribuíram e influenciaram na evolução dos equipamentos submarinos e na melhoria de seu processo de produção.

2. Metodologia

Este trabalho trata-se de uma pesquisa descritiva-explicativa, pois tem como finalidade a observação sistemática, além da análise, interpretação dos resultados obtidos durante o estudo, sem intervenção ou manipulação dos mesmos.

Esta pesquisa é bibliográfica para que o referencial teórico possa ser plenamente elaborado, é uma pesquisa documental pois serão utilizados documentos fornecidos pela empresa em questão, além de ser um estudo de caso, o que permite um detalhamento e um aprofundamento maior a respeito do objeto abordado nesta pesquisa.

Para Marconi e Lakatos (2017, p 109) “universo ou população é o conjunto de seres animados ou inanimados que apresentam pelo menos uma característica em comum.” Desta forma, o universo deste trabalho é composto por uma indústria *offshore*.

Para Marconi e Lakatos (2017, p 109), amostra “constitui uma porção ou parcela, convenientemente selecionada do universo (população), é um subconjunto do universo.” Assim, a amostra estudada neste trabalho consiste nos equipamentos submarinos.

A coleta de dados deste trabalho foi realizada, de maneira longitudinal, baseada nas literaturas que abordam os assuntos estudados (metodologia *Lean* e equipamentos submarinos). Além da análise de documentos disponibilizados pela empresa. Com base nas conclusões alcançadas pelas pesquisas bibliográfica e documental, será estabelecida a comparação dos resultados entregues entre as três diferentes gerações de equipamentos.

3. Fundamentação teórica

3.1. *Lean*

A base da produção enxuta é a combinação de técnicas gerenciais com as máquinas a fim de produzir mais com menos recursos. Ela combina a vantagem da produção artesanal, evitando o alto custo, com a produção em massa, evitando a inflexibilidade. Para alcançar esses objetivos de produção, a gerência reúne equipes de trabalhadores com várias habilidades em cada nível da organização, para trabalharem ao lado de máquinas, produzindo grandes

quantidades de bens com variedades de escolha. A produção é enxuta porque usa menos de tudo se comparada com a produção em massa – menos esforço humano na fábrica, espaço físico menor, menor investimento em equipamentos. (RIANI, 2006)

Para Dennis (2008), a base do sistema *Lean* é a estabilidade e a padronização. As paredes são a entrega *just-in-time* e *jidoka*. A meta (o telhado) do sistema é o foco no cliente, ou seja, entregar a mais alta qualidade para o cliente ao mais baixo custo, no lead time mais curto. O coração do sistema é o envolvimento: membros de equipes flexíveis e motivados, constantemente a procura de uma forma de fazer as coisas. A Figura 1 a seguir, representa a Casa de Produção *Lean*.

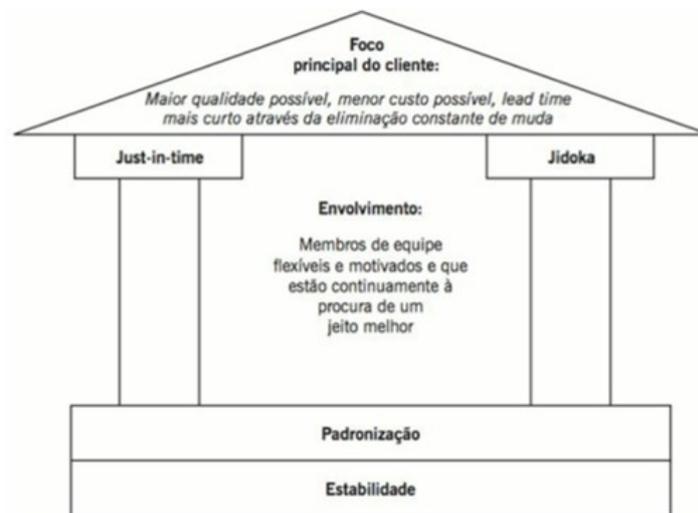


FIGURA 1 - Casa de Produção Lean. Fonte: Dennis (2008)

3.2. Tipos de desperdícios

De acordo com Ohno (1997), desperdício é qualquer ação ou etapa de um processo que não agrega valor ao cliente, é tudo aquilo que o cliente não está disposto a pagar. É aquilo que, se não for feito, não gera efeito adverso para o produto final. Com o passar do tempo, os sete desperdícios mortais se tornaram oito:

- Defeito: está relacionado ao não atendimento de especificações de desempenho, entrega ou processamento. Requerem recursos e custos adicionais para corrigir ou para substituir partes ou documentos que são rejeitadas por não atenderem a tais requisitos.
- Espera: tem origem no desperdício de tempo consumido aguardando por materiais, pessoas, recursos ou correções de problemas. Caracterizado por longos períodos de inatividade de

pessoas, informações ou bens.

- Excesso de produção: caracterizado pela produção além do necessário; além da necessidade do próximo processo ou do cliente.
- Transporte: caracterizado pelo excesso de movimento de peças ou documentos durante o processo de trabalho. Comum quando o processo é desorganizado ou burocrático.
- Inventário: representa o material entre operações devido a produção de grandes lotes ou processos com tempo de ciclo muito longos. Caracterizado também por materiais estocados no almoxarifado e produtos prontos e não enviados ao cliente.
- Movimentação: ocorre pelo excesso de movimento de pessoal na execução do trabalho. Podendo ser movimentos no posto de trabalho, ou deixar o posto de trabalho para buscar uma peça, ferramenta, insumos para a realização do processo.
- Excesso de processamento: ocorre quando se executa mais trabalho do que o planejado para a realização de uma tarefa, ou produzir acima da qualidade especificada nos requisitos do produto ou serviço.
- Habilidades: relaciona-se a não utilização das habilidades do profissional. Perdas de oportunidade devido a ideias não utilizadas ou subutilização de conhecimentos.

A Figura 2 a seguir, apresenta alguns benefícios da redução desses desperdícios:



FIGURA 2 Benefícios da redução de desperdícios. Fonte: Werkema (2021)

3.3. Equipamentos submarinos

O papel da engenharia submarina tem sido decisivo para produzirmos em águas profundas e ultra profundas. Soluções tecnológicas sofisticadas, com equipamentos bastante específicos, permitem-nos levar o petróleo e o gás natural do fundo do mar até nossas unidades de

produção (PETROBRAS, 2015).

Na Figura 3 a seguir, é representado uma típica estrutura de sistema submarino com os principais equipamentos.

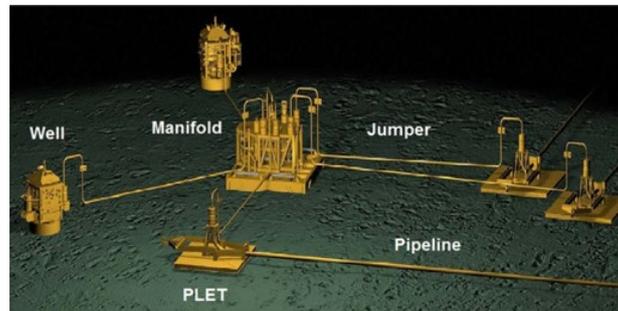


FIGURA 3 - Estrutura clássica de Sistema Submarinos. Fonte: Bai (2010)

3.3.1. Árvore de Natal Seca (ANS)

A origem do nome “Árvore de Natal” se deu na década de 1930, quando moradores de províncias petrolíferas terrestres dos EUA fizeram a associação do equipamento coberto de neve a um pinheiro natalino. (PETROBRAS, 2016). Na Figura 4 a seguir, é apresentado um modelo de Árvore de Natal Seca (ANS).



FIGURA 4 - Árvore de Natal Seca. Fonte: CBIE (2019)

Com a descoberta de petróleo no fundo do mar, o sistema foi adaptado às novas condições e passou a ser chamado de árvore de natal molhada, passando a ser amplamente utilizada em plataformas de produção offshore (PETROBRAS, 2016).

3.3.2. Árvore de Natal Molhada (ANM)

De grande robustez, a ANM é projetada para suportar elevadas pressões e temperaturas e é composta por um conjunto de válvulas e conectores para controle do fluxo de petróleo e gás com segurança. Ao longo dos últimos anos, os modelos de ANM vêm incorporando

inovações de última geração, adaptadas para o cenário de águas cada vez mais profundas (PETROBRAS, 2016).

A ANM é um sistema inteligente de válvulas instalado para controlar o fluxo de extração de petróleo e gás dos poços. Sua principal função é distribuir o petróleo para os equipamentos que fazem parte do processo de refino do produto. As ANMs podem ser instaladas a até 2500 metros de profundidade e, dependendo da vazão, podem bombear de 5 mil a 15 mil barris de petróleo por dia (GE REPORTS BRASIL, 2016).

Esses equipamentos envolvem uma sofisticada operação tecnológica, que requer não só a utilização de robôs controlados remotamente como também a mobilização de equipes altamente especializadas (PETROBRÁS, 2016).

Na Figura 5 a seguir, é apresentado um modelo de ANM da Petrobrás.



FIGURA 5 - Árvore de Natal Molhada. Fonte: Petrobras (2016)

Segundo apresentado por Bellarby (2009), existem dois tipos de árvore de natal: a vertical e a horizontal. A diferença entre a árvore vertical e horizontal está na posição das válvulas. Em uma árvore vertical, as válvulas mestras estão posicionadas na vertical alinhadas com o *Tubing Hanger*, enquanto em uma árvore horizontal, estão posicionadas horizontalmente e distantes do furo de produção, como mostrado na Figura 6 a seguir.

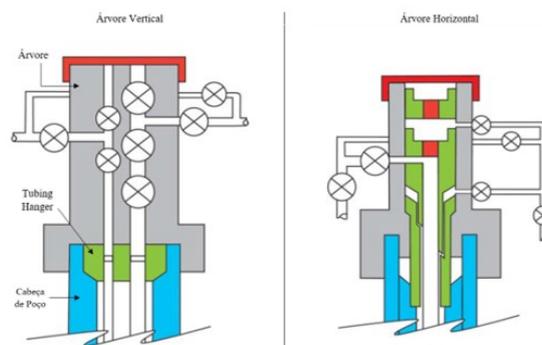


FIGURA 6 - Configuração das válvulas em árvore de natal. Fonte: Bellarby (2009)

4. Estudo de caso

4.1. Início da jornada *lean*

A empresa estudada atende uma série de clientes diferentes, muitos deles com seu tipo de árvore característico, com configurações igualmente características. Antes do início da implementação da filosofia *Lean*, acreditava-se que essa complexidade e diversidade de produtos fazia parte do negócio da empresa. Os clientes são específicos e querem seus equipamentos sigam particularidades estabelecidas por eles – a encomenda desses equipamentos à fábrica era realizada de forma bem rigorosa, bem engessada, sem muita abertura para sugestões em inovação – que era obrigação da empresa se preparar e ajustar seus processos internos para atendê-los.

Entretanto, o objetivo da implementação da filosofia e dos conceitos do *Lean Manufacturing* é justamente conseguir uma padronização para que seja possível atender a todos esses clientes sem que seja necessária a fabricação de uma variedade de árvores com tantas diferenças. Uma vez que a falta de padronização dos equipamentos atrapalha não só a jornada *Lean* da empresa como a curva de aprendizagem dos colaboradores e na padronização dos processos em si.

4.2. Produção do novo equipamento

A EVDT 2ndgen que está sendo produzida pela empresa estudada, já é um produto mais padronizado. Foi investido em integração entre engenharia industrial e engenharia do produto, o chamado LPPD (*Lean Product and Process Development*), que nada mais é que o desenvolvimento do produto e do processo em conjunto a fim de que se desenvolva um produto final melhor em todos os âmbitos. O envolvimento dessas diferentes áreas contribui para que o produto final seja “amigável” aos mais diversos processos - instalação, movimentação, manutenção montagem etc.

A consequência dessa evolução é um equipamento mais leve e menor – logo, não demanda de barcos e plataformas tão grandes para sua mobilização, dessa forma, mais baratos – com menos peças, com uma logística de entrega ao cliente mais fácil, menor tempo de mobilização e instalação, o que resulta em um menor investimento ao longo de todo o processo, desde a compra do equipamento até a instalação dele, além de um *lead time* menor, ou seja, mais rapidez para o início da produção de óleo.

O *Value Proposition* (em português, Proposta de Valor, que significa valor que uma empresa promete entregar aos clientes caso optem por comprar seu produto) do novo equipamento é

poder entregá-lo em um tempo menor para o cliente, agilizando assim o primeiro óleo, proporcionando ao cliente a recuperação do valor investido mais rapidamente.

O processo inteiro de completção do poço (desde a perfuração até o começo da produção de petróleo) é muito caro. Sendo assim, apenas o menor custo da árvore não se torna algo tão diferencial para o cliente. O que de fato é importante para o cliente é a possibilidade de antecipar o primeiro óleo.

A Figura 7 a seguir, apresenta o novo equipamento, a EVDT ^{2nd}gen



FIGURA 7 - EVDT ^{2nd}gen. Fonte: Autores (2021)

4.3. Utilização de protótipos

Tanto no âmbito da produção quanto no da montagem, além das simulações computadorizadas, a implementação do uso de protótipos em escala real também impulsionou a melhoria contínua dos processos. Os protótipos são feitos em isopor utilizando uma impressora 3D na escala 1x1 seguindo todas as especificações do componente do equipamento que será estudado. São realizados testes e ensaios das melhores ideias provenientes dos *kaizens* nesses protótipos. Somente após a constatação de que determinada sugestão de melhoria de fato funciona, ela é replicada no produto, procedimentada e padronizada.

Esse processo, além de gerar uma considerável economia – uma vez que os ensaios já foram realizados e seus procedimentos mapeados para a perfeita execução no produto em si, o que mitiga significativamente os erros – ajuda os operadores a terem real dimensão do item na hora da montagem, ajuda a verificar se determinada peça cabe da máquina de usinagem considerando seu giro, ajuda no planejamento detalhado dos procedimentos de movimentação e tombagem das peças dentro da fábrica, entre outras contribuições.

4.4. Redução do *lead time* de produção

O *lead time* de uma árvore standard fabricada pela empresa está entre 15 e 18 meses, desde o momento que o cliente coloca o pedido até a entrega.

Neste processo de fabricação, as etapas são representadas conforme Figura 8 a seguir:

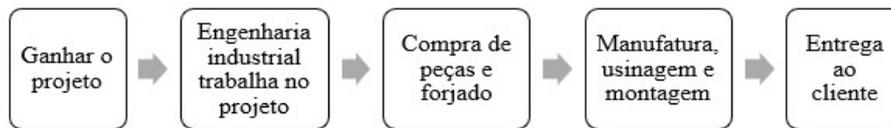


FIGURA 8 – Processo de fabricação atual. Fonte: Autores (2021)

Quando se tem um produto padronizado algumas etapas do processo de produção já estão definidas e/ou antecipadas, como: o projeto de engenharia já foi definido previamente; a compra das peças e de forjado (matéria-prima da árvore) pode ser realizada antecipadamente e em maior volume - o que reduz o valor unitário; os procedimentos de usinagem das peças e de montagem já estão estabelecidos. O que não é possível quando se tem a fabricação de equipamentos com uma grande variedade de especificações.

Como exemplo: a usinagem de um bloco leva aproximadamente 120 dias. Entretanto é imprescindível um tempo antes do processo em si para a preparação dele. É necessário fazer um programa de usinagem, preparar todo o ferramental para a usinagem, realizar um estudo de máquina etc., pois cada produto é um produto. São mandatórias uma usinagem e uma preparação específica para cada item, visto que cada um deles tem suas especificações.

Com a padronização toda essa parte de engenharia industrial é feita antecipadamente e as informações são armazenadas em bancos de dados. Dessa forma as etapas de produção de um equipamento passam a ser conforme apresentado na Figura 9 a seguir:

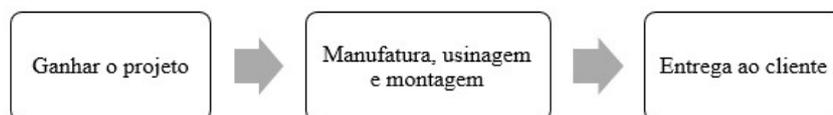


FIGURA 9 – Novo processo de fabricação. Fonte: Autores (2021)

Apenas com a padronização do projeto de engenharia e do forjado, o ganho de *lead time* pode chegar a 12 meses.

Essa redução de processos intermediários possibilita que um equipamento seja fabricado em

12 meses, tendo potencial de redução para até 8 meses, perseguindo a meta de entregar uma EVDT 2ndgen na metade do tempo, quando comparado às árvores *standard*.

5. Considerações finais

Este trabalho tem como objetivo demonstrar como a metodologia *Lean*, seus princípios e ferramentas contribuíram e influenciaram na evolução dos equipamentos submarinos e na melhoria de seu processo de produção, bem como retratar os principais aperfeiçoamentos que foram conquistados no decorrer da jornada.

Foi possível apresentar a redução de lead time de produção com aplicação dos conceitos Lean na empresa, foi explanado sobre a EVDT 2ndgen, - a nova Árvore de Natal Molhada que já está em linha de produção - bem como algumas melhorias quando comparada a modelos anteriores, apresentando uma redução de *lead time* de 6 meses equivalente a 33,4%.

Com isso comprovando com esse trabalho que a filosofia *Lean Manufacturing* permite que as empresas eliminem, ou reduzam ao máximo, seus desperdícios e, conseqüentemente, aumentem sua produtividade, qualidade e seu valor no mercado. Esses avanços possibilitam que as empresas evoluam, não somente em relação aos seus produtos e serviços, como também em relação a seus processos internos, priorizando atividades que agreguem valor ao cliente.

Referências

BAI, Y. **Pipelines And Risers**. 2ed. Netherlands: Elsevier, 2003.

BELLARBY, J. **Well Completion Design**. 1ed. Oxford, UK: Elsevier, 2009.

CALADO, R. D. **Software FMEA: uma aplicação na concepção de planos de manutenção para reparo de equipamentos submarinos de produção de petróleo e gás**. Revista Tecnológica da Fatec Americana, v. 5, n. 2, p. 49-68, 2017.

CBIE. **Como é Controlado o Fluxo de Petróleo dos Poços**. 2019. Disponível em <<https://cbie.com.br/artigos/como-e-controlado-o-fluxo-de-petroleo-dos-pocos/>> Acesso em 15 de set. de 2021.

DENNIS, P. **Produção Lean Simplificada: um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo**. 2ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2008. Disponível em <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577802913/cfi/19!/4/4@0.00:15.1>>. Acesso em 3 mai. 2021.

GE Reports Brasil. **Conheça as árvores de natal, superequipamentos para a extração de petróleo e gás.** 2016. Disponível em: <<https://gereportsbrasil.com.br/conhe%C3%A7%C3%A1rvores-de-natal-superequipamentos-para-a-extra%C3%A7%C3%A3o-depetr%C3%B3leo-e-g%C3%A1s-c05fb9af13be>> Acesso em 01 set. de 2021.

GHINATO, P. **Produção e competitividade: aplicações e inovações.** Recife: Editora da UFPE, 2000.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do Trabalho Científico: projetos de pesquisa, pesquisa bibliográfica, teses de doutorado, dissertações de mestrado, trabalhos de conclusão de curso.** 8ed. São Paulo, SP: Atlas, 2017.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Larga Escala.** 1ª Ed: Bookman, 1997.

PETROBRAS, Site. **Petrobrás alcança marca histórica ao instalar milésima Árvore de Natal Molhada no Brasil.** 2016. Disponível em [https://www.agencia petrobras.com.br/Materia/ExibirMateria?p_materia=978317](https://www.agencia. petrobras.com.br/Materia/ExibirMateria?p_materia=978317)>. Acesso em 08 jun. 2021.

PETROBRAS, Site. **Conheça curiosidades sobre equipamentos de nossos sistemas submarinos.** 2015. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/conhecacuriosidades-sobre-equipamentos-de-nossos-sistemas-submarinos.htm>> Acesso em 01 set. 2021.

PEDROSA, O; CORRÊA, A. **A crise do petróleo e os desafios do pré-sal.** Boletim de Conjuntura, v. 2, p. 4-14, 2016.

RIANI, A. M. **Estudo de Caso: o Lean Manufacturing aplicado na Becton Dickinson.** /Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia, Universidade de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG. 2006.

SANT'ANA, Camila Freitas et al. **Comportamento dos custos em empresas do G-20: análise sob a ótica dos sticky costs.** Contabilidad y Negocios: Revista del Departamento Académico de Ciências Administrativas, v. 14, n. 28, p. 108-125, 2019.

WERKEMA, Cristina. **Lean Seis Sigma: introdução às ferramentas do lean manufacturing.** 2ed. Rio de Janeiro, RJ: Atlas, 2021. Disponível em: <[https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595158214/epubcfi/6/10\[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright.html\]!/4/16/2/9:15\[sti%2Cna\]](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595158214/epubcfi/6/10[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright.html]!/4/16/2/9:15[sti%2Cna])> Acesso em 5 de jul. 2021.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo.** 14. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.