



Indústria 4.0 e a transformação digital para o Lean Manufacturing: um estudo de caso da aplicação da digitalização dos processos lean manufacturing em uma empresa multinacional

Industry 4.0 and digital transformation for Lean Manufacturing: a case study of the application of digitalization of lean manufacturing processes in a multinational company

Industria 4.0 y la transformación digital hacia la Fabricación Ajustada: estudio de caso de la aplicación de la digitalización de los procesos de fabricación ajustada en una empresa multinacional

DOI: 10.55905/revconv.17n.12-266

Originals received: 10/21/2024

Acceptance for publication: 11/14/2024

Evandro Segundo Soares Pereira

Mestrando em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Endereço: Campinas - São Paulo, Brasil

E-mail: e202054@dac.unicamp.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7401-5131>

Robert Eduardo Cooper Ordóñez

Doutor em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade estadual de Campinas (UNICAMP)

Endereço: Campinas - São Paulo, Brasil

E-mail: recooper@unicamp.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4935-5075>

RESUMO

A transformação dos processos físicos em registros digitais é fundamental para a adoção efetiva das práticas associadas à Indústria 4.0, proporcionando visibilidade e transparência nos estágios iniciais, conforme indicado pela matriz de maturidade desenvolvida pela ACATECH. A integração essencial entre a tecnologia da informação e as operações físicas permite o acompanhamento em tempo real, agilidade nas requisições, completando a abordagem da gestão puxada, que coloca ênfase na produção em resposta à demanda real, evitando assim o acúmulo desnecessário de estoques e reduzindo custos associados, sendo um dos pilares do Lean manufacturing. Neste contexto, foi realizado um caso de estudo em uma empresa Multinacional do ramo metalmeccânico do Brasil, mas com sede na Europa, da aplicação de um processo de transformação digital do processo de gestão de produção, com objetivo de permitir a sincronização dos abastecimentos das linhas de produção, visibilidade e transparência dos processos produtivos, onde mesmo digitalizado, ainda mantém a filosofia Lean manufacturing.



Palavras-chave: indústria 4.0, transformação digital, gestão de produção, produção puxada, lean manufacturing.

ABSTRACT

The transformation of physical processes into digital records is fundamental for the effective adoption of practices associated with Industry 4.0, providing visibility and transparency in the early stages, as indicated by the maturity matrix developed by ACATECH. The essential integration between information technology and physical operations allows real-time monitoring, agility in requests, completing the pull management approach, which places emphasis on production in response to real demand, thus avoiding unnecessary accumulation of stocks and reducing associated costs, being one of the pillars of Lean manufacturing. In this context, a case study was carried out in a Multinational company in the metal-mechanical sector in Brazil, but based in Europe, for the application of a digital transformation process of the production management process, with the aim of allowing the synchronization of supplies to the production lines. production, visibility and transparency of production processes, where even digitized, it still maintains the Lean manufacturing philosophy.

Keywords: industry 4.0, digital transformation, production management, pull production, lean manufacturing.

RESUMEN

La transformación de los procesos físicos en registros digitales es fundamental para la adopción efectiva de las prácticas asociadas a la Industria 4.0, proporcionando visibilidad y transparencia en las primeras etapas, como indica la matriz de madurez desarrollada por ACATECH. La integración esencial entre la tecnología de la información y las operaciones físicas permite el seguimiento en tiempo real, la agilidad en las solicitudes, completando el enfoque de gestión pull, que hace hincapié en la producción en respuesta a la demanda real, evitando así la acumulación innecesaria de existencias y reduciendo los costes asociados, y es uno de los pilares de la fabricación Lean. En este contexto, se llevó a cabo un estudio de caso en una multinacional metalúrgica de Brasil, pero con sede en Europa, de la aplicación de un proceso de transformación digital del proceso de gestión de la producción, con el objetivo de permitir la sincronización de los suministros a las líneas de producción, la visibilidad y la transparencia de los procesos de producción, donde aún digitalizada, sigue manteniendo la filosofía Lean manufacturing.

Palabras clave: industria 4.0, transformación digital, gestión de la producción, pull production, lean manufacturing.

1 INTRODUÇÃO

O Lean Manufacturing, também conhecido como Manufatura Enxuta, é uma filosofia de gestão que se concentra na eliminação de desperdícios e na otimização de processos para criar um ambiente de produção mais eficiente. Uma das principais abordagens dentro do Lean é a



gestão puxada, na qual o processo de produção é acionado pela demanda do cliente, em oposição à abordagem tradicional de empurrar produtos para o mercado com base em previsões. Isso significa que a produção é iniciada apenas quando há uma necessidade real, evitando o acúmulo de estoques desnecessários e reduzindo os custos associados (Oliveira; *et al*, 2018) e (Straka; *et al*, 2018)

Mesmo com o KANBAN sendo uma ferramenta útil, muitas empresas acabam mesclando o processo de abastecimento KANBAN, com a necessidade de produtos não controlados por KANBAN, mas sim abastecidos na linha conforme a demanda planejada e programada. Este processo é muito comum para produtos de engenharia, onde não existe uma continuidade seriada de produção. (Kumar; *et al*, 2022) e (Sly, 2018)

A interconexão entre o desenvolvimento da informática e o núcleo do negócio da empresa é essencial. Nesse contexto, a gestão física, integrada à informática, resulta no desenvolvimento de um processo que utiliza os módulos ERP e WMS, customizações e coletores de dados, possibilita a evolução do acompanhamento em tempo real das operações, agilidade nas solicitações e a utilização dos dados armazenados para a geração de informações gerenciais e possivelmente aplicação de inteligência artificial. (Reuter; *et al*, 2018)

Assim, pode se afirmar que a integração dos processos físicos transformando em registros informatizados, é extremamente importante para a adoção das práticas de gestão associadas à indústria 4.0, pois permite a visibilidade e transparência dos processos, sendo estes níveis iniciais da jornada da indústria 4.0, conforme matriz de maturidade desenvolvido pela ACATECH (Acatech, 2016).

O presente estudo de caso foi realizado em uma indústria multinacional no setor metalmeccânico, onde existe um processo físico e não totalmente digitalizado, que integra de gestão de abastecimento de linha, que causa um descompasso entre o abastecimento das linhas de produção, assim como pouca visibilidade e transparência dos processos. Dessa forma, surgiu a necessidade de desenvolver um novo processo que permita aos operadores da linha acompanhar a programação de produção e solicitar o abastecimento de forma “puxada”, on-line e integrada entre as áreas das empresas.

Diante desse contexto, a questão central é: qual seria o método mais eficaz para que a gestão de produção possa acompanhar a programação, coordenar e sincronizar as solicitações de



abastecimento, aplicando o conceito de produção puxada e digitalizada, permitindo a visibilidade e transparência necessárias para a indústria 4.0?

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

Entendendo o desafio, justifica-se o contexto da aplicação de um estudo de caso, visando a evolução dos processos de abastecimento de linhas, gestão de produção e gestão de dados.

Para os procedimentos técnicos da pesquisa, foram utilizadas as práticas de estudo de caso e levantamento, pois o procedimento foi baseado em coletar e analisar informações de um caso, via observações, a fim de estudar aspectos variados, de acordo com o assunto da pesquisa (Gil, 2017).

A necessidade de um entendimento do atual processo e o desenvolvimento de uma evolução deste, visando aplicar metodologias de manufatura enxuta e transformação digital, pressupõem que no processo atual existem pontos de melhoria que podem definir o problema a ser trabalhado no artigo. Assim o problema fica definido: Como podemos aplicar a transformação digital na gestão de produção e abastecimento de linha, dando visibilidade à gestão de produção e aos processos de abastecimento de linha?

Sob o ponto de vista da abordagem do problema, foi utilizada uma pesquisa qualitativa que está caracterizada no processo de entender e interpretar fenômenos e a atribuição de significados, assim não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas, sendo um processo descritivo (Gil, 2017).

Sintetizando as atribuições do artigo, temos um objetivo definido como: desenvolver um estudo de caso aplicado, visando a melhoria do processo de gestão de produção e abastecimento de linhas, aplicando conceito de fluxo puxado e transformação digital.

Para atender o objetivo, foram divididas as atividades em 3 etapas:

- a) levantamento e análise da situação atual: O estudo aplicado deve iniciar com levantamento da situação atual, que permita esmiuçar os processos atuais, assim será desenvolvido um fluxograma e a descrição do cenário atual, permitindo evoluir para a próxima etapa do estudo que será a análise e entendimento integral do processo. Neste entendimento, serão extraídos pontos que podem ser evoluídos no processo aplicando os conceitos de manufatura puxada e digitalização de processos;



- b) aplicação do novo processo: Contextualizado o processo atual e os pontos que podem ser melhorados, será desenvolvido um novo processo que permita atender os pontos de melhorias identificados na análise do fluxo atual. Este novo processo será apresentado em fluxograma e descrição do processo e as telas desenvolvidas para atender o novo fluxo;
- c) discussão: Monitoramento e coleta de informações, analisando os procedimentos modificados, durante um período de dois meses após a implementação do novo método, foram examinados os processos alterados, identificando e estabelecendo relações entre benefícios e desvantagens observáveis. Situações significativas durante a introdução foram documentadas por escrito, e foram expostos dados relacionados a áreas de aprimoramento e ajustes necessários.

3 LEVANTAMENTO DO CENÁRIO ATUAL

O estudo foi aplicado como um estudo de caso, em uma empresa Multinacional do ramo metalmeccânico.

A empresa produz itens especializados, com o processo de produção no estilo engenharia, por este motivo existem itens com maior giro e utilizado em mais produtos, como por exemplo parafusos, que permanecem nas linhas de produção e são abastecidos pelo processo KANBAN de requisição. Porém itens mais exclusivos, não permanecem na linha, permanecendo no almoxarifado e são levados para as linhas de produção, conforme o planejamento e programação da produção.

Os processos de produção são gerenciados pelo sistema ERP (Enterprise Resource Planning), assim, o planejamento de produção é realizado no ERP pelos programas especialistas deste processo, gerando ordens de produção. Estas ordens de produção contém os registros das necessidades de produção e também a Bill of materials (BOM).

A liberação das ordens de produção atende o critério das sequências de datas geradas no planejamento, mas não leva em consideração possíveis atrasos da linha ou até mesmo atrasos dos fornecedores de matérias primas. As ordens de produção são impressas em duas cópias e colocadas na sequência que precisam ser atendidas pelo almoxarifado e produzidas na linha. Uma cópia é encaminhada para a linha de produção para a gestão da produção e outra encaminhada



para o almoxarifado para que sejam separadas as matérias primas e levadas para a linha de produção.

O operador do almoxarifado gera o documento de separação no WMS (Warehouse Management System) e disponibiliza os itens nas linhas de produção. Conforme comentado anteriormente os itens de alto giro e intercambiáveis são disponibilizados na linha de produção via KANBAN de posição, mas os itens dedicados que não são de alto giro e relacionados a ordem de produção, são separados no almoxarifado e disponibilizados nas linhas de produção por este fluxo.

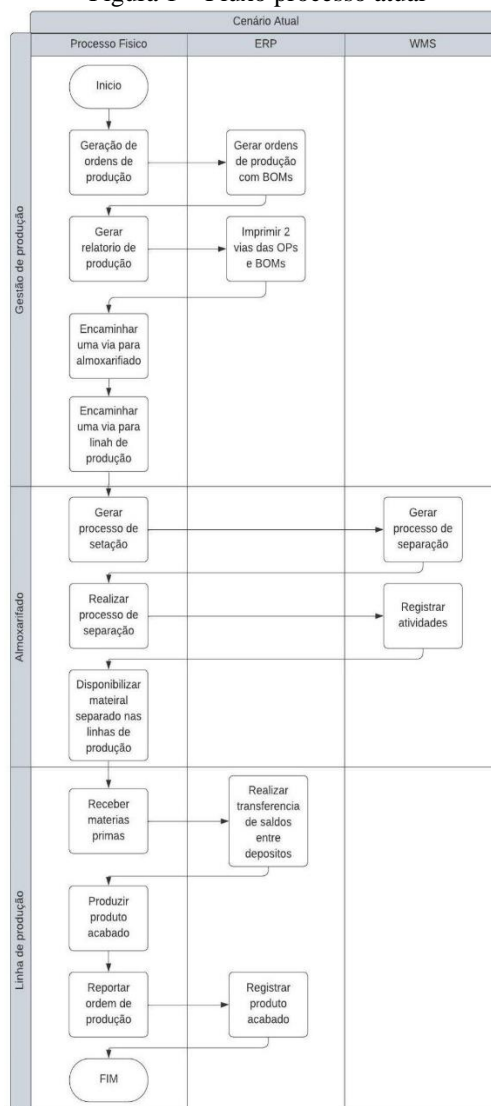
Na linha de produção os itens são disponibilizados nas posições, pela equipe do almoxarifado e o relatório é entregue para o responsável da linha de produção.

Com as matérias primas recebidas, o processo de produção é iniciado e conforme finalizam as montagens é realizado o processo de reporte de produção registrando os produtos acabados no sistema ERP e pelo processo de backflush realizado o processo de baixa de matérias primas também no ERP.

As sequências e as interrelações entre as atividades físicas, sistemas e as áreas que ocorrem podem ser melhor visualizadas no fluxo disponibilizado na Figura 1.



Figura 1 – Fluxo processo atual



Fonte: Autoria Própria (2023)

4 ANÁLISE DO CENÁRIO ATUAL

O desequilíbrio no timing do abastecimento, com o envio antecipado de matérias-primas pelo almoxarifado, cria um desequilíbrio operacional, resultando em um volume excessivo de insumos em relação à capacidade efetiva da linha. Adicionalmente, a falta de sincronização entre a linha de produção e o almoxarifado compromete a localização eficaz das matérias-primas relacionadas às ordens de produção, enquanto a gestão enfrenta desafios para rastrear o status preciso dessas ordens.



O processo atual segue modelos de gestões padrões de atendimento de solicitações de matérias primas e ordens de produção, porém mesmo existindo sistemas de gestão eficientes ainda existe uma grande dependência do acompanhamento físico in-loco dos processos.

A geração de ordens de produção e liberação para a produção, não considera os saldos disponibilizados, possibilitando a liberação para produção e almoxarifado de ordens sem saldos disponíveis ou até mesmo de concorrência do saldo entre ordens de produção e até mesmo um aumento dos estoques para mitigar estas situações. Esta situação para o almoxarifado é complicador do processo, pois somente ao iniciar a separação, é apresentada a falta da matéria prima e em muitos momentos já foram separados outros itens da BOM onde em muitos casos o operador precisa interromper o atendimento e armazenar os itens já separados ou até mesmo disponibilizar os itens em uma área de espera dentro do almoxarifado.

Analizando o processo de abastecimento, ocorre descompasso entre o momento quando será necessária a matéria prima e abastecimento da linha, onde o almoxarifado encaminha matérias primas antes da necessidade, gerando um volume de matérias primas maior que a capacidade da linha de produção, pois como não existe uma comunicação eficaz entre as áreas.

Existe uma ruptura de comunicação, sendo pouco eficiente entre as áreas de gestão de produção, linha de produção e almoxarifado, assim não permite acompanhar o status dos processos, sem que estejam no in-loco acompanhado o processo, também o extravio dos relatórios também ocasionam este problema de comunicação.

Como o processo de gestão de produção não é informatizado, não existe uma visibilidade on-line dos acontecimentos e até mesmo da fila de produção, pois a gestão pode liberar várias ordens de produção, porém não consegue acompanhar o status destas ou até mesmo de possíveis problemas operacionais, como uma parada de linha ou a troca da sequência das ordens disponibilizadas.

No contexto da análise dos pontos de melhoria do processo atual, podemos resumir nos seguintes tópicos:

- d) liberação para produção de ordens de produção sem o total de matérias primas para atender a necessidade;
- e) separações incompletas no Almoxarifado;
- f) perdas das solicitações devido extravio das requisições físicas (relatório em papel);
- g) pouca visualização dos saldos no sistema;



- h) acúmulo de matéria prima nas linhas de produção, devido ao fluxo empurrado;
- i) estoque para garantir o tempo do ciclo de reabastecimento;
- j) pouca visibilidade do processo de produção e de toda a cadeia interna de atendimento;
- k) KPIs pouco confiáveis ou difíceis de manter atualizados.

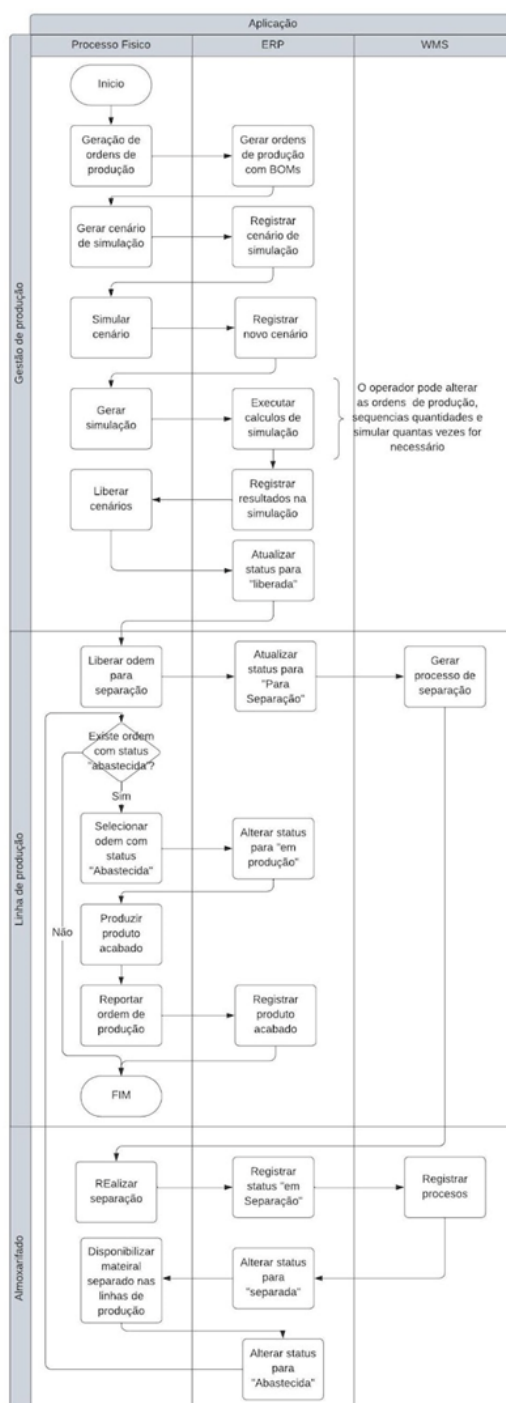
5 APLICAÇÃO DO NOVO PROCESSO

Entendendo o cenário atual a proposta de evolução do processo foi dividida em dois macro processos, um denominado simulação de reservas de ordens produção e um segundo processo integrado ao primeiro denominado Gestão de fila de produção.

Estes macro processos estão resumidos na Tabela 1 com os objetivos e quais melhorias pretendem atender e no fluxo apresentado na Figura 2:



Figura 2 – Fluxo processo proposto



Fonte: Autoria Própria (2023)



Tabela 1 – Objetivos e processo desenvolvidos

Objetivo	Melhorias
Desenvolver processo de simulação de ordens de produção com base nas BOM das ordens de produção.	a) Liberação para produção de ordens de produção sem o total de matérias primas para atender a necessidade. b) Estoque para garantir o tempo do ciclo de reabastecimento.
Permitir reservar os saldos necessários para a ordem de produção e gerar uma fila de produção.	c) Pouca visualização dos saldos no sistema. d) Pouca visibilidade do processo de produção e de toda a cadeia interna de atendimento
Desenvolver uma gestão visual e informatizada para que os operadores das linhas de produção possam acompanhar as ordens de produção planejadas e o processo de abastecimento da linha de produção.	e) Perdas das solicitações devido extravio das requisições físicas (relatório em papel) f) Acúmulo de matéria prima nas linhas de produção devido ao fluxo empurrado. g) Pouca visibilidade do processo de produção e de toda a cadeia interna de atendimento.
Integrar as solicitações de abastecimento de linhas de produção com o controle das requisições, conectando-se ao Sistema WMS para coordenar a separação e identificação dos volumes.	h) Separações incompletas no Almoxarifado. i) Pouca visibilidade do processo de produção e de toda a cadeia interna de atendimento
Produzir dados no sistema ERP/Banco de dados e em seus módulos, possibilitando a disponibilização de informações para a gestão operacional e indicadores-chave de desempenho (KPIs).	j) KPIs pouco confiáveis ou difíceis de manter atualizados. k) Pouca visibilidade do processo de produção e de toda a cadeia interna de atendimento.

Fonte: Autoria Própria (2023)

5.1 SIMULAÇÃO E RESERVA DE SALDOS

Geradas as ordens de produção pela equipe de planejamento de produção, o processo desenvolvido permite simular a BOM das ordens de produção com o saldo do estoque do ERP. A execução, apresenta os itens da BOM que podem não conter saldo disponível, assim evitando que seja liberada para a produção uma ordem de produção com itens faltantes.

A operação ocorre na área de gestão de produção, pelos analista responsável pela programação de produção, com os seguintes passos:

- 1) o operador seleciona as ordens de produção, pelos filtros disponibilizados, que são:
faixa de Data, faixa de horário, faixa de linha de produção, status da ordem de produção;
- 2) na tela principal são apresentadas as ordens de produção, com base nos filtros estabelecidos, listadas de forma crescente, considerando a data e hora do planejamento;
- 3) o operador pode alterar a ordenação das ordens e ou selecionar determinadas ordens de produção;



- 4) finalizada a ordenação, o operador aciona a execução da simulação, gerando um cenário de simulação, que executa os seguintes processos:
 - 4.1) conforme ordenação da ordem de produção, são extraídos os itens da lista de produção;
 - 4.2) a quantidade necessária para cada item, é comparada com o saldo existente no depósito de matérias primas. Este saldo, será o saldo disponível, ou melhor o saldo total menos o saldo reservado/alocado. O processo de comparação segue os seguintes passos:
 - 4.2.1) se o saldo do depósito for maior que a necessidade do item da BOM da ordem de produção, a quantidade total necessária para atender o item da BOM, será reservada no saldo do depósito, indisponibilizando esta quantidade;
 - 4.2.2) se o saldo do depósito for igual que a necessidade do item da BOM da ordem de produção, a quantidade total necessária para atender o item da BOM, será reservada no saldo do depósito, indisponibilizando esta quantidade;
 - 4.2.3) se o saldo do depósito for menor que a necessidade do item da BOM da ordem de produção, a quantidade disponível será alocada para atender o item da BOM e será reservada no saldo do depósito, indisponibilizando esta quantidade;
 - 4.2.4) se o saldo do depósito for menor que a necessidade do item da BOM da ordem de produção, será apenas sinalizado que não existe saldo;
 - 4.2.5) o processo é cíclico até que todos os itens que compõem a BOM da ordem de produção sejam analisados e sejam simulados;
 - 4.2.6) finalizado todos os itens que compõem a BOM da ordem de produção é iniciada a simulação da próxima ordem de produção.
 - 4.3) finalizada todas as ordens do cenário é gerado o resultado em tela.
- 5) o resultado da execução, além da reserva dos saldos garantido, apresenta de forma visual o resultado:
 - 5.1) as ordens de produção com todos os itens alocados, são apresentadas em verde;
 - 5.2) as ordens de produção com parte dos itens atendidos, são apresentadas em amarelo;
 - 5.3) as ordens de produção sem nenhum item atendido, são apresentadas em vermelho.
- 6) a última etapa é análise e liberação das ordens, para a linha de produção:
 - 6.1) o operador pode selecionar as ordens que deseja liberar, permitindo selecionar as ordens, pois podem existir ordens que estão sem saldos locados e não precisam liberar.



6.2) também é possível encaminhar o cenário para que o setor de suprimentos possa avaliar os itens que não tinham saldo disponível.

7) as ordens de produção simuladas no cenário, mas não liberadas, continuam com status Não simulada e retiram a alocação do saldo simulado.

Para as ordens de produção com todos os saldos disponíveis, o analista de produção realiza a confirmação da liberação para produção. Esta liberação realiza a reserva de saldo no ERP, permitindo uma garantia do saldo para a ordem de produção e disponibiliza a ordem de produção para o sistema de gestão de filas que está disponível na linha de produção, conforme descrito no tópico 5.2 Gestão de fila de produção. Na Figura 3 é possível observar uma imagem correspondente ao programa do processo de simulação.

Figura 3 – Tela de simulação Análoga à desenvolvida

Sequencia	Ordem de produção	Data Inicio Produção	Produto	quantidade	Status	Atendida?
<input type="checkbox"/> 1	123.001	01/02/2022	ITEM X	100	Simulada	Total
<input type="checkbox"/> 2	123.010	15/02/2022	ITEM Y	80	Simulada	Total
<input type="checkbox"/> 3	123.022	04/03/2022	ITEM X	20	Simulada	Parcial
<input type="checkbox"/> 4	123.003	05/03/2022	ITEM Z	50	Simulada	Não
<input type="checkbox"/> 5	123.101	20/03/2022	ITEM Y	10	Simulada	Total

ITEM	Quantidade Faltante ^A
Matéria prima 001	10
Matéria prima 002	50

Simulação Liberar

Fonte: Autoria Própria (2023)

5.2 GESTÃO DE FILA DE PRODUÇÃO

As ordens de produção liberadas são apresentadas no programa de gestão de fila de produção, permitindo a comunicação sem papel do processo e o acompanhamento on-line da produção.

A operação ocorre in-loco na linha de produção, via terminal disponibilizado para este fim e o operador responsável realiza os seguintes passos:

1) o operador mantém parametrizada a linha de produção para que sejam apresentadas as ordens de produção liberadas para a linha de produção;



- 2) as ordens de produção relacionadas a linha de produção são apresentadas considerando as datas e horas do planejamento de forma crescente;
- 3) o operador seleciona a ordem de produção e solicita o atendimento da ordem. O processo de atendimento segue os seguintes processos:
 - 3.1) é gerado o documento de separação no almoxarifado, solicitando a separação dos itens relacionados a BOM da ordem de produção solicitada, passando o status da ordem para SOLICITADO;
 - 3.2) no almoxarifado, quando iniciado o processo de separação no WMS, o status da ordem passa para EM SEPARAÇÃO;
 - 3.3) quando finalizado o processo de separação o status passa para SEPARADA;
 - 3.4) o milk run, retira o material separado no almoxarifado e o disponibiliza na linha de produção, passando o status da ordem de produção para ABASTECIDO.
- 4) o operador seleciona a Ordem de produção com status ABASTECIDO para iniciar a produção, passando o status desta para EM PRODUÇÃO, significando que iniciou o processo de produção;
 - 4.1) o processo permite ainda realizar algumas gestões da produção:
 - 4.1.1) status PARADA: Indicando que a linha tenha parado, mas deve continuar;
 - 4.1.2) status IMPEDIDA: Significa que ocorreu alguma situação que impede a continuidade da ordem de produção e o pode ser iniciada uma outra ordem, pois o sistema somente permite uma ordem de produção com status EM PRODUÇÃO.
- ;5) conforme os produtos são reportados, estes são registrados na ordem de produção.
- 6) quando toda a necessidade de produção é realizada, o operador pode finalizar a ordem, passando o status para FINALIZADA.

Na Figura 4 é possível observar uma imagem correspondente ao programa do processo de gestão de fila de produção detalhado anteriormente.



Figura 4 – Tela de gestão de fila Análoga à desenvolvida

The screenshot shows a web interface for 'Gestão de fila'. At the top, there's a breadcrumb trail: 'ERP > Gestão de produção > Gestão de fila'. Below it, a date selector shows '01/02/2022'. A dropdown menu is set to 'Linha de produção'. The main area contains a table with the following data:

Sequencia	Ordem de produção	Data Início Produção	Produto	Quantidade	Status	Código?
1	123.001	01/02/2022	ITEM X	100	Separada	001
2	123.010	15/02/2022	ITEM Y	80	Em separação	001
3	123.101	20/03/2022	ITEM Y	10	Não liberada	001

At the bottom right, there are three buttons: 'Liberar', 'Reportar', and 'Parada'.

Fonte: Autoria Própria (2023)

6 DISCUSSÃO

Em síntese, o estudo de caso conduzido na empresa multinacional do setor metalmeccânico revelou complexidades intrínsecas à gestão operacional, especialmente no que tange à interação entre as áreas de gestão de produção e logística interna.

O processo de transformação digital, apresenta choques culturais que podem ser mitigados com os ganhos que este apresenta, onde no caso deste trabalho a digitalização do processo e principalmente o paperless, permitiu uma visão online dos processo e consequente uma rápida resposta aos obstáculos do dia a dia e principalmente a garantia da informação sem a necessidade in-loco dos processos.

No contexto do Lean manufacturing as atividades puxadas garantem a sincronização dos processo e também a redução de estoque, assim um fluxo puxado onde mesmo que não físico, mas informatizado onde a linha de produção indica a necessidade a ser atendida, permite a manutenção da filosofia Lean, mas com um ganho de informação e visibilidade on-line.

Algumas das telas desenvolvidas apresentadas neste trabalho foram simplificadas, assim como os dados quantitativos não foram expostos neste trabalho, pois são sensíveis ao processo da empresa, podendo expor dados sensíveis da empresa, porém a análise qualitativa pode ser vista na Tabela 2, onde apresentamos as situações:



Tabela 2 – Ganhos identificados

Situação antes implantação	Ganho identificados após a implantação
Liberação para produção de ordens de produção sem o total de matérias primas para atender a necessidade.	Com o processo de simulação e alocação de saldo, existe a garantia que exista saldo para todas as matérias primas.
Perdas das solicitações devido extravio das requisições físicas (relatório em papel)	Sem a necessidade da gestão do relatório físico e com o acompanhamento dos status, permite a rastreabilidade das atividades utilizando o conceito paperless.
Separações incompletas no Almoxarifado.	Diminuição do lead time entre a separação e preparação dos itens solicitados, pois quando solicitada o abastecimento do almoxarifado pode iniciar a preparação.
Pouca visualização dos saldos no sistema.	Processo online de saldo, permitindo o saldo ser transferido no momento da operação, garantindo a visualização sistema igual a física.
Acúmulo de matéria prima nas linhas de produção devido ao fluxo empurrado,	Com a sincronização dos processos de solicitação e abastecimento, as linhas de produção somente são abastecidas conforme a necessidade e solicitação da linha, sendo um fluxo puxado.
Estoque para garantir o tempo do ciclo de reabastecimento.	O estoque tende a diminuir, pois o lead time de atendimento é menor se comparado à situação anterior.
Pouca visibilidade do processo de produção.	Com informatização do processo, todos os setores interessados, conseguem acompanhar o processo deste a programação, abastecimento e produção.
KPIs pouco confiáveis ou difíceis de manter atualizados.	Com o registro online dos processos, é possível gerar KPIs com registros confiáveis e on-line.

Fonte: Autoria Própria (2023)

Conforme listado na Tabela 2 todos os pontos levantados que poderiam ser evoluídos foram atendidos e indo muito além destes, pois permite total transparência dos processos e a visibilidade global e principalmente on-line, assim permitindo futuras evoluções como:

- integrar a gestão de compras para os itens faltantes;
- priorizar o recebimento de determinado item que está faltando para uma ordem de produção liberada;
- com a informatização dos processos, é possível democratizar as informações como incluir modelos visuais de acompanhamento em todas as áreas produtivas como andons ou até mesmo monitores, assim como desenvolvimento de APPs para acompanhar as operações em dispositivos móveis;
- integrar a gestão de paradas e produção de máquinas, sensores e IOTs;
- sistema de business intelligence para aprimorar a análise de informações.

Sob a ótica da matriz de maturidade da ACATECH, direcionando a análise para o novo processo, a transformação digital aplicada permitiu acessar os níveis 1 e 2, pois permitiu informatizar o processo e conectar o físico com o sistema. Também o processo atinge o nível 3,



pois permite transparência do processo, pois permite visualizar o que está acontecendo de forma on-line. Ainda no contexto da indústria 4.0, o processo aplicado é uma base para evolução aos próximos níveis, 4, 5 e 6, pois apresenta um modelo de registro de dados escalável para aplicação das tecnologias habilitadoras como exemplo, IoT, big data, dados em nuvem e até mesmo a inteligência artificial, que é dependente de um modelos de dados seguro para garantir seu bom funcionamento.

7 CONCLUSÃO

O estudo evidencia que há necessidade constante de reavaliação e aprimoramento dos processos de gestão, onde uma abordagem integrada, possivelmente por meio de refinamentos nos sistemas existentes ou pela introdução de tecnologias mais avançadas, a fim de harmonizar e otimizar os fluxos operacionais. Tal abordagem não apenas mitigaria as discrepâncias identificadas, mas também promoveria uma gestão mais transparente, eficiente e alinhada às melhores práticas do setor metalmecânico. Este estudo, ao desvelar as complexidades inerentes ao cenário analisado, oferece contribuições relevantes para a melhoria contínua das práticas de gestão em empresas similares.

Os resultados alcançados com a aplicação da transformação digital com objetivo de ganhos operacionais foi o grande diferencial deste trabalho, pois trata-se de uma case real, que possibilita escalar e replicar para outras empresas. Estes fatores atribuem valor ao trabalho apresentado, para a divulgação dos ganhos da transformação digital e da indústria 4.0 quando tem o objetivo de resolver problemas reais, saindo da teoria e apresentando um ganho para a sociedade.



REFERÊNCIAS

ACATECH (2017). **Maturity Index Industry 4.0**. Retrieved Disponível em:

[https://www.acatech.de/wp-](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_Industrie_4.0.pdf)

[content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_Industrie_4.0.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_Industrie_4.0.pdf) Acessado em: 01 de setembro de 2023

ACATECH (2016). **Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0 [Implementation recommendations for the future project Industry 4.0 - Final report of the Industry 4.0 working group]**. Disponível em: <https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/Publikation-deutsch-umsetzungsempfehlungen-fuer-das-zukunftsprojekt-industrie-4-0.pdf> Acessado em: 01 de setembro de 2023

GIL, A. C. 2017. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6ed. Atlas, São Paulo, SP, Brasil.

KUMAR, N.; HASAN, S.S.; SRIVASTRA, K.; AKHATAR, R. **Lean manufacturing techniques and its implementation: A review**. *Mater*. Disponível em : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322018284?via%3Dihub> Acessado em: 05 de agosto de 2023

OLIVEIRA, E; *et al.* **Lean manufacturing: a literature review and future research directions**. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. v.94. n.9- 12. 2849-2866p. 2018.

REUTER, A.; Schwabe, G. (2018). **Cybersecurity in Industry 4.0: A Review**. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 51(5), 100.

SANTOS, E. Tânia M. L. 2023. **Optimization of the Production Management of an Upholstery Manufacturing Process Using Lean Tools: A Case Study** *Applied Sciences* 13, no. 17: 9974. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app13179974> Acessado em: 15 de setembro de 2023

SLY, D. P. 2018 “**Internet Based e Kanban/ e Kitting Involving Suppliers**” *Procedia Manufacturing* volume 17, 2018, Pages 484-490 Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.073> Acessado em: 15 de setembro de 2023

STRAKA, M.; LENORT, R.; KHORI, S.; FELIKS, J. **Design of large-scale logistics systems using computer simulation hierarchic structure**. *Int. J. Simul. Model*. Disponível em: http://www.ijsimm.com/Full_Papers/Fulltext2018/text17-1_105-118.pdf Acessado em: 05 de Agosto de 2023