

# A NOVA REESTRUTURAÇÃO PRODUTIVA: Indústria 4.0, subsunção real e gerenciamento algorítmico

Iuri Tonelo\*

Este artigo investiga como a Indústria 4.0 transforma e impacta o mundo do trabalho, compreendendo-a não apenas como avanço tecnológico (inteligência artificial, sistemas ciberfísicos), mas como base de novas formas de gerenciamento algorítmico que extrapolam o ambiente fabril. Objetiva-se analisar como essas tecnologias reconfiguram o controle, a vigilância e a intensificação do trabalho, aprofundando o processo de subsunção real do trabalho ao capital. Metodologicamente, retomam-se estudos sobre fordismo e toyotismo para identificar continuidades, rupturas e limites da Indústria 4.0 enquanto expressão de uma reestruturação produtiva em escala global, e análises empíricas tanto internacionais quanto dos casos brasileiros da Mercedes-Benz (SP) e Jeep (PE). Conclui-se que a difusão dessas tecnologias consolida mecanismos mais complexos de exploração laboral, mediados por algoritmos e dados.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria 4.0. Trabalho. Controle algorítmico. Subsunção real. Reestruturação produtiva.

## INTRODUÇÃO

Como parte de desvendar os aspectos centrais da atual reestruturação produtiva em curso (Robinson, 2020; Tonelo, 2020; 2021; 2023), buscou-se neste artigo abordar os aspectos históricos e teóricos que estabelecem a relação entre o surgimento da Indústria 4.0 e as transformações mais amplas do mundo do trabalho, não só na indústria, mas também nos serviços, compreendendo o significado da implementação de tecnologias de inteligência artificial nas modalidades laborais. Propomos focalizar, neste trabalho, o significado da Indústria 4.0, expressão consagrada por Klaus Schwab em 2016, mas também chamada de *Industrial Internet of Things* [internet das coisas industrial] (Gilchrist, 2016) ou *Smart Manufacturing* [produção inteligente] (Tarantino, 2022), analisando-a sob o ponto de vista da sociologia do trabalho, retomando reestruturas

produtivas anteriores como parte de compreender as novidades da atual.

Para isso, começamos por situar o surgimento da Indústria 4.0 no contexto da recessão econômica de 2009 – um marco que, longe de ser acidental, é fundamental para a compreensão desse fenômeno. Essa perspectiva permite explorar as conexões entre as potencialidades e os limites de uma reestruturação produtiva em escala global com os desdobramentos de uma crise econômica e social. Trata-se de uma dinâmica que guarda semelhanças com reestruturas anteriores, como o fordismo e o toyotismo, também forjadas em meio a eventos históricos de grande impacto, como crises econômicas e guerras mundiais. Nesse sentido, foi utilizado um aspecto de metodologia dialética segundo o qual a forma mais desenvolvida, ao contrário de um pensamento evolutivo, é reveladora da forma menos desenvolvida, de modo que a “economia burguesa fornece a chave da Economia da Antiguidade etc” (Marx, 1987, p. 20). Assim, executando um raciocínio similar, podemos dizer que ter como ponto de partida a Indústria 4.0 possibilita compreender melhor alguns aspectos do fordismo e toyotismo

\* Universidade Federal de São Paulo. Departamento de Ciências Sociais.  
Estrada do Caminho Velho, 333. Jardim Nova Cidade. Cep: 07252-312. Guarulhos – São Paulo – Brasil.  
iutoneo@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0003-2995-1902>

e, compreendendo-os, podemos definir a particularidade da Indústria 4.0 e seu caráter disruptivo. A orientação metodológica específica proposta neste artigo é a de revisão bibliográfica sobre a Indústria 4.0 e demais reestruturações, mas se atendo à leitura dos formuladores dos conceitos das reestruturações anteriores (como Henry Ford e Toichii Ohno), e trazendo estudos empíricos da Mercedes-Benz no ABC (SP) e da Jeep de Goiana (PE) como forma de compreender seus principais determinantes e auxiliar a compreensão das continuidades e descontinuidades da Indústria 4.0 sob um ponto de vista marxista.

Fundamentando a análise, buscamos abordá-la a partir do fordismo e toyotismo, não como uma simples cronologia histórica – já amplamente discutida por autores como Braverman (1980), Coriat (1979), Burawoy (1979), Antunes (2009) e Druck (1999), mas destacando sua dimensão de inovação tecnológica e produtiva, articulada a contextos históricos cruciais como as guerras mundiais, a crise de 1929 e de 1973. A seguir, aprofundaremos a reflexão sobre o Sistema Toyota de Produção a partir das formulações de Ohno (1997) e das análises de Coriat (1994), enfatizando a transformação organizacional promovida pelo toyotismo, essencial para compreender como elementos técnicos e organizacionais se articulam nas bases da Indústria 4.0. Por fim, discutiremos os fundamentos dessa nova etapa, surgida na Alemanha (Schwab, 2016; Gilchrist, 2016; Kumar, Zindani; Davim, 2019; Tarantino, 2022), analisando a inteligência artificial e os sistemas ciberfísicos, mas particularmente dando destaque à ideia de “gerenciamento algorítmico” e para novas formas de subsunção real do trabalho ao capital.

Assim, tendo esses elementos postos, sustentamos a tese segundo a qual a novidade tecnológica que está na base da reestruturação produtiva contemporânea, tal qual em outros processos de reestruturação, nasceu na fábrica. Desse modo, trata-se de compreender a Indústria 4.0 como pilar da reestruturação

produtiva em termos industriais e produtivos, mas também como vetor para pensarmos fenômenos que vão para além dos muros fabris e também incorporam a inteligência artificial, como a uberização e a amazonificação do trabalho. Mais do que um salto tecnológico isolado, argumenta-se que a Indústria 4.0 representa uma intensificação qualitativa da subsunção real do trabalho ao capital, articulando novas formas de controle algorítmico e reorganização da produção em escala global. Seu desenvolvimento, longe de ser neutro, está inscrito nas contradições do capitalismo contemporâneo, emergindo no bojo da crise financeira de 2008 e operando sob o imperativo de recuperar a rentabilidade por meio da exploração de novas tecnologias digitais.

## REESTRUTURAÇÃO: produtos da turbulência

Inovações tecnológicas e organizacionais não constituem, por si só, reestruturações produtivas. Para visualizarmos um fenômeno em larga escala de reestruturação da produção, que constitua a marca do mundo do trabalho de um período histórico, é necessário que se unifiquem, num dado momento, inovações robustas e as possibilidades de investimentos massivos para modificar a configuração da produção nacional e internacionalmente.

É fundamental considerar esse aspecto ao analisar o alcance, as possibilidades e os obstáculos da Indústria 4.0 na economia internacional atual. O contexto da crise de 2008, também chamada de *crise dos subprimes* (Blackburn, 2008), em que vimos a bancarrota do quarto maior banco de investimentos dos Estados Unidos, o Lehman Brothers, é decisivo para compreender a natureza contraditória das possibilidades de impacto das tecnologias 4.0 no mundo do trabalho e, de forma mais ampla, na sociedade.

Por um lado, a crise que resultou na chamada “Grande Recessão” (Chesnais, 2008)

criou as condições para que as potências econômicas, em particular europeias, abrissem debates intensos no sentido da reestruturação (Lapavitsas, 2018), momento no qual os próprios governos se engajaram nos projetos de reestruturação como forma de transferir os custos da crise para as esferas laborais. Não por acaso, precisamente nesse contexto a Indústria 4.0 emergiu, tendo sua origem associada a um projeto estratégico de desenvolvimento tecnológico do governo alemão, sendo os principais responsáveis por essa conceituação Henning Kagermann, Wolfgang Wahlster e Wolf-Dieter Lukas, que apresentaram o termo publicamente na Feira de Hannover em 2011 e, posteriormente, entregaram recomendações formais ao governo alemão em 2013 (Hermann; Pentek; Otto, 2016).

Por outro lado, os limites do processo estão dados pelas circunstâncias próprias da crise. Conforme ampla bibliografia desenvolvida sobre os efeitos da crise na economia mundial (Chesnais, 2008; Duménil; Lévy, 2014; Krugman, 2012a; Lapavitsas, 2018; McNally, 2009; Roubini, 2010; Kliman, 2011), é possível dizer que os efeitos recessivos, naturais de uma crise econômica, não se combinaram com novos nichos de acumulação, resultando, antes, em um novo padrão de acumulação. A verdade é que seguimos vivenciando os dramas do que Lawrence Summers, ex-presidente do Banco Central norte-americano, no pós-crise, chamou de “estancamento secular” (Bach, 2016), uma situação econômica que combina crescimento baixo, investimentos reduzidos e produtividade do trabalho contida em escala internacional (Bach, 2016). Desse modo, o vislumbamento da implementação de uma verdadeira “revolução industrial” entra em conflito com as condições econômicas favoráveis e necessárias para que haja um montante de investimentos necessário para que os efeitos internacionais da reestruturação sejam patentes e influentes na dinâmica laboral global.

A noção de “reestruturação produtiva” se refere não apenas à análise das mudanças

pós-1970, mas também, em sentido mais amplo, conforme conceituamos nesse tópico e ao longo do artigo, ao próprio fordismo como uma reestruturação da produção ligada a fenômenos históricos. Nesse sentido, é mister ter em mente que os processos de reestruturação anteriores, no geral, estiveram ligados a grandes eventos históricos, não só de crises, mas também de guerras – que paradoxalmente têm efeitos posteriores, por vezes, de impulsionamento da economia com o aquecimento da indústria bélica durante o conflito e planos de reconstrução após a conflagração.

Tomando a reestruturação produtiva norte-americana do início do século XX como um dos mais emblemáticos fenômenos, é possível notar que esse evento econômico foi precedido por estudos que tiveram Frederick Taylor como nome fundamental, particularmente sua obra de 1911, “Princípios da administração científica” (Taylor, 1995). No entanto, a forma manifesta das intenções colocadas se deu com o chamado fordismo, fenômeno que começa a ser robustamente implementado em 1913 e 1914, nas portas da Primeira Guerra Mundial. Esse contexto internacional turbulento foi decisivo para a expansão do modelo. O próprio Henry Ford explica em sua biografia que a temporada de 1912 a 1913 “foi um pouco frouxa”, mas que, “entre 1913 e 1914 a produção aumentou em um terço” (Ford, 1925, p. 180), sendo um fato conhecido que os tratores Ford inundaram mercados europeus ao final da guerra, tendo sido utilizados para a recuperação econômica dos aliados americanos, particularmente entre 1917 e 1919, ano em que a Ford “trabalhou para a guerra” (Ford, 1925, p. 180). Retrospectivamente, vale retomar que, desde finais do século XIX, Henry Ford já havia começado a desenvolver carros, que passaram a ser vendidos sistematicamente na virada do século. Mas o que convencionamos a chamar de fordismo, um modelo de produção em série, baseado nas esteiras, na divisão do trabalho bem segmentada, nas operações manuais repetitivas, na diminuição do tempo

de deslocamento dos trabalhadores com ferramentas e peças e na concentração em serviços manuais (Braverman, 1980; Coriat, 1979; Burawoy, 1979; Druck, 1999), e que teve ascensão decisiva diante da Guerra Mundial e, particularmente, da produção voltada para o conflito.

Se a Primeira Guerra Mundial, conforme destacamos, foi fundamental para esse primeiro impulso do fordismo, sua consolidação como padrão de acumulação internacional esteve ligada aos efeitos da segunda conflagração mundial. Como destacou sarcasticamente Paul Krugman, a Segunda Guerra Mundial funcionou, em termos econômicos, como um “grande plano de obras públicas” (2012b, p. 24), devido à enorme destruição que deixou e às possibilidades de reconstrução, aproveitadas pelos Estados Unidos com o Plano Marshall. Esse impulso foi crucial para consolidar internacionalmente a reestruturação fordista, no sentido de produção massiva, já em curso, em um novo patamar técnico e organizacional. O período pós-guerra, com o fortalecimento do Estado de bem-estar social e políticas keynesianas, criou um cenário favorável para anos de crescimento e *boom* parcial das forças produtivas (Mandel, 1985). A produção padronizada e os altos níveis de emprego e consumo, aliados a um papel ativo do Estado, definiram a “era dourada do capitalismo ocidental” nas décadas de 1950 e 1960, consolidando a hegemonia do modelo fordista.

O mesmo poderia ser dito em relação ao toyotismo. Também se expressou nesse fenômeno a relação entre a transformação da indústria e um fenômeno de magnitude histórica, no caso, a chamada crise do petróleo, de 1973 (Mandel, 1973). Taiichi Ohno, engenheiro idealizador do Sistema Toyota de Produção, argumenta que o toyotismo só conseguiu ser implementado em larga escala e com consequências robustas a partir da própria crise, que criou condições significativas para a sua implementação, conforme seu relato: “[o] Sistema Toyota de Produção foi concebido e sua implementação começou logo após a Segunda

Guerra Mundial. Mas ele não tinha atraído a atenção da indústria japonesa até a primeira crise do petróleo no outono de 1973” (Ohno, 1997, p. IX). Segundo argumenta Ohno, foi “durante esta emergência econômica que eles notaram, pela primeira vez, os resultados que a Toyota estava conseguindo com a sua implacável perseguição à eliminação do desperdício” (Ohno, 1997, p. IX). A crise do petróleo, como a guerra, anos antes, possibilitou a reestruturação, mas foi com a resposta neoliberal dos anos 1980 que se conseguiu atingir as condições econômicas, sociais e políticas para sua implementação.

O que queremos destacar, na relação entre o fenômeno de reestruturação da produção e o contexto histórico, é como a Primeira Guerra Mundial (momento em que nasceu a reestruturação) e, particularmente, o pós-Segunda Guerra, no caso do fordismo, assim como a crise de 1973 e a ofensiva neoliberal que surgiu como resposta, no caso do toyotismo, foram decisivos para que houvesse a capacidade de investimentos necessários para se implementar as reestruturações produtivas em escala internacional. Nesse sentido, contextualizar o pós-crise de 2008 para pensar a emergência da Indústria 4.0 a partir de 2011 é fundamental para refletir as possibilidades e obstáculos para o desenvolvimento do fenômeno.

## AMERICANISMO E FORDISMO, ERA DIGITAL E INDÚSTRIA 4.0

Henry Ford, em um capítulo de sua biografia intitulado “inicia-se a verdadeira produção”, comenta que:

Quando temos um meio de economizar uns 10% de tempo, ou intensificar os resultados na mesma proporção e o deixarmos de fazer, vale isso tanto como pagar um juro de 10% sobre toda a produção. Se o salário de um operário é de 50 centavos por hora, uma economia de 10% equivale a um lucro de 5 centavos por hora (Ford, 1925, p. 104).

Tal passagem pode parecer despreziosa, contudo, Ford a descreve como reflexão dos “princípios básicos de minha empresa” (Ford, 1925, p. 104). Analisando cuidadosamente, a passagem descreve como a economia de tempo e o emprego do trabalho na produção, por um lado, e a economia da porcentagem de valor, aumentada em forma de lucro (mais-valor), de outro, estão no centro nevrálgico da reestruturação produtiva fordista. Assim, a preocupação com a utilização máxima da força de trabalho, seja economizando seu tempo com outras atividades ao garantir uma esteira e a produção em série, seja se preocupando em como os operários estarão nas melhores capacidades para executar o trabalho (reprodução social), são aspectos vitais.

O olhar agudo de Antonio Gramsci para esse problema demonstrou que não se pode pensar a reestruturação produtiva fordista por fora da emergência do americanismo, o que inclui o controle da vida dos operários, de sua sexualidade, de suas formas de matrimônio e de sua vida no lazer (absenteísmo), incluindo o controle do álcool no caso concreto (que Gramsci discute a partir do proibicionismo e do puritanismo) (Gramsci, 2024, p. 30). De certa forma, Gramsci aponta como Henry Ford observou também a importância da reprodução da força de trabalho (e das formas de controlá-la à distância).<sup>1</sup> O que está em jogo, na análise do marxista sardo, é a compreensão de que o fordismo foi disruptivo e essencialmente norte-americano (com suas tradições filosóficas pragmáticas), ao colocar “tudo” em função da produção e da extração da mais-valor, de modo que “a hegemonia nasce da fábrica” (Gramsci, 2024, p. 10) e molda outros aspectos da vida social em função disso. Conforme argumentamos, isso não poderia se dar sem um

<sup>1</sup> Aqui retomamos a reflexão de Graça Druck pensando o toyotismo, que nos parece valiosa para pensar a Indústria 4.0, quando diz: “A discussão do modelo japonês, na sua forma mais global, deve retomar a mesma linha de análise utilizada para o fordismo. Ou seja, partindo da abordagem clássica de Gramsci, em ‘Americanismo e Fordismo’, onde o autor discute o ‘novo modo de produzir e de trabalhar’ – no âmbito fabril-, articulado a um ‘novo modo social de viver’” (Druck, 1999b, p. 281).

reordenamento societal, momento no qual não só a Guerra de 1914 exerceu um impulso fundamental nos Estados Unidos, mas também os próprios efeitos da crise de 1929 e a Segunda Guerra Mundial o fizeram.

Outro aspecto, combinado a esse como objeto de reflexão nos estudos sobre o tema (incluindo os próprios Cadernos do Cárcere), é a característica de que a imposição da reestruturação não estava apenas na coerção, mas na capacidade que teve, inicialmente, de garantir a aparência de “altos salários” para os operários, o que exerceu, novamente a partir da fábrica, a hegemonia social necessária para se impor como fenômeno social mais amplo (fordismo). Gramsci analisa como esse efeito só poderia se dar inicialmente, e que sua generalização, nas condições sociais advindas de uma guerra e de um pós-guerra (desemprego alto), rebaixariam novamente os salários, tornando mais evidentes os efeitos exploradores e coercitivos. Conforme explica:

É óbvio pensar que os chamados altos salários representam uma forma transitória de retribuição. A adaptação aos novos métodos de produção e de trabalho não pode ocorrer só pela coação social: este é um “preconceito” bastante difuso na Europa [e especialmente no Japão], que não demorará a ter graves consequências para a saúde física e psíquica dos trabalhadores, um “preconceito” que, por outro lado, só tem base no endêmico desemprego que ocorreu no pós-guerra. Se a situação fosse “normal”, o aparelho de coerção necessário para a obtenção do resultado desejado custaria mais do que os altos salários. (...) Mas, assim que os novos métodos de trabalho e de produção se generalizarem e difundirem, assim que o novo tipo de operário for criado universalmente e o aparelho de produção material se aperfeiçoar ainda mais, a excessiva rotatividade será automaticamente limitada por um extenso desemprego e os altos salários desaparecerão (Gramsci, 2024, p. 35).

As reflexões de Gramsci enriquecem a conexão entre o contexto histórico, os mecanismos de coerção e o consenso necessário para a implementação da reestruturação e do americanismo. Eis, portanto, um dos “segredos” que consideramos fundamentais para a análise de uma reestruturação produtiva, es-

pecialmente à luz das inovações do fordismo: a centralidade da organização do trabalho em torno da intensificação da produção de mais-valor e as transformações sociais e societais advindas desse processo. Isso pressupõe a subsunção real do trabalho ao capital por meio de inovações tecnológicas – como a esteira de produção em série – e organizacionais – como o sistema Kanban, que abordaremos a seguir.

Mas a passagem é elucidativa das diferenças que encontramos ao abordar o contexto da Indústria 4.0. Há também na atualidade uma atmosfera de transformação cultural e societal a partir da inteligência artificial, que funciona como legitimadora das transformações tecnológicas. Mas elas se dão num contexto muito marcado pela crise e pelo estancamento, conforme argumentamos, e fazem com que, diferentemente do fordismo, não seja necessário recorrer a mecanismos hegemônicos, como uma etapa de altos salários como forma de reafirmação, mas possam se valer do conjunto dos impactos sociais que a inteligência artificial têm tido, particularmente as IA generativas (como *ChatGPT* ou *DeepSeek*), como forma de legitimação social. Em outras palavras, o que é correlativo ao que foi o “americanismo” de outrora é a chamada “quarta revolução industrial” (Schwab, 2016) ou a “era digital da inteligência artificial”, que funciona como sustentáculo cultural e ideológico das transformações fabris e do capitalismo de plataforma. Mas, ao contrário de “altos salários” do marketing fordista, o que tem se expressado são intensas tendências de precarização.

## TOYOTISMO E ACUMULAÇÃO FLEXÍVEL NUMA ÉPOCA DE TENSÕES GEOPOLÍTICAS?

As definições sobre as características marcantes do toyotismo apontam para a noção de indústria enxuta, flexível e o sistema *just-in-time* como elementos marcantes. Num livro que ficou clássico por definir o significado

do toyotismo, *The machine that changed the world* (Womack, Jones e Roos, 1990, p. 13), os autores definem o sistema do seguinte modo, dando os contornos de uma propaganda da reestruturação produtiva:

A produção enxuta [*lean production*] (um termo cunhado pelo pesquisador do IMVP John Krafcik) é ‘enxuta’ porque usa menos de tudo em comparação com a produção em massa - metade do esforço humano na fábrica, metade do espaço de fabricação, metade do investimento em ferramentas, metade das horas de engenharia para desenvolver um novo produto na metade do tempo. Além disso, requer a manutenção de muito menos da metade do estoque necessário no local, resulta em muito menos defeitos e produz uma variedade maior e sempre crescente de produtos.

Esse relato é significativo. Em primeiro lugar, porque expõe de forma cristalina um dos princípios mais fundamentais da descrição da lei do valor e mais-valor segundo *O Capital* de Marx: trata-se, e não poderia ser diferente no toyotismo, de uma disputa pelo tempo de trabalho.

Nesse caso, conforme Marx (2014, p. 260) aponta na Seção 2 do Livro 2 da referida obra, a aceleração do processo de rotação do capital atua como forma de potencializar a extração de valor e, ao mesmo tempo, também atua reduzindo o dispêndio de trabalho e energia em torno do que não gera valor, evitando o “desperdício”. A pista de pensar a esfera da produção e circulação como processo integrado, concentrando o máximo possível na produção de valor, evitando uma produção massiva desnecessária, planejando melhor a partir de uma conexão maior com a demanda, reduzindo estoques e tentando conter a superprodução, é parte das características do toyotismo. Conhecer o processo em seus variados componentes é crucial para entender como a Indústria 4.0 aprofunda e supera esse método.

Vejamos em contexto histórico o significado da “*lean production*” dessa reestruturação produtiva. O Sistema Toyota de Produção tem suas raízes no contexto do pós-guerra ja-

ponês, começando a ser desenvolvido a partir do final da década de 1940 e ao longo dos anos 1950, tendo como um dos principais nomes o engenheiro Taiichi Ohno. Seu surgimento foi possibilitado por um ambiente social e político específico: a profunda desmoralização dos sindicatos japoneses após a derrota na Segunda Guerra Mundial e os traumas nacionais causados pelas bombas atômicas lançadas sobre Hiroshima e Nagasaki. Esse cenário favoreceu o laboratório produtivo de um novo regime de trabalho mais disciplinado e centrado na eficiência, em um país sob ocupação americana, que incentivava a reconstrução econômica como forma de conter o avanço do socialismo na Ásia.

Taiichi Ohno desenvolveu, em sua obra “O sistema Toyota de produção: além de produção em larga escala”, uma das principais sínteses da história e dos princípios do toyotismo. Norman Bodek, da *Productiv Inc*, na apresentação do livro, comenta o último encontro entre ele e Ohno. Quando Bodek perguntou o que a Toyota estaria fazendo, Ohno respondeu: “Tudo o que estamos fazendo é olhar a linha do tempo”, disse o engenheiro japonês, “do momento que o freguês nos entrega um pedido até o ponto em que recebemos o dinheiro. E estamos reduzindo essa linha do tempo removendo os desperdícios que não agregam valor.” (Bodek, 1997, p. XI).

Dentre os pilares que o autor destaca no Sistema Toyota de Produção, conforme concebido por Taiichi Ohno, a autonomia (*jidoka*) introduz o princípio de “automação com toque humano” (Ohno, 1997, p. 27). Esta abordagem visa conciliar dois objetivos aparentemente contraditórios: (1) aumentar a autonomia das máquinas, permitindo que um mesmo trabalhador opere múltiplos equipamentos (intensificando o trabalho); e (2) desenvolver mecanismos que identifiquem imediatamente as falhas no processo produtivo, parando automaticamente a linha quando necessário. Nesse sistema, os trabalhadores de manutenção assumem um papel importante, não

apenas corrigindo defeitos, mas analisando sistematicamente suas causas para evitar recorrências. Essa inovação organizacional representa uma ruptura qualitativa em relação ao fordismo: enquanto o modelo tradicional priorizava a produção em massa e grandes estoques (que ocultavam ineficiências), o toyotismo institucionaliza a busca contínua por “eficiência” produtiva.

Um segundo aspecto destacado, conforme detalhado por Ohno, era a operação de uma inversão da lógica fordista, desenvolvendo o que ficou conhecido como *just-in-time*. Enquanto aquela partia de uma produção massiva para depois buscar (e inclusive fomentar) mercados consumidores, o toyotismo estruturava-se a partir da demanda concreta, reorganizando o fluxo produtivo de forma retrógrada (do produto final às matérias-primas). Essa reengenharia do processo foi viabilizada pelo sistema *Kanban* - a partir de “caixas”, em que se inserem “cartazes” (significado de *Kanban* em japonês) (Coriat, 1994, p. 57), inicialmente baseado em sinais visuais (cartões) e progressivamente aprimorado com sensores automatizados -, que permitiam um controle preciso da produção em tempo real, em que “[c]ada elo na corrente *just in time* está conectado e sincronizado. Por essa razão, os níveis gerenciais são também drasticamente reduzidos” (Ohno, 1997, p. 27).

Benjamin Coriat, economista que se tornou um dos maiores estudiosos do tema em perspectiva crítica, se refere ao *Kanban* como “a maior inovação organizacional da segunda metade do século XX” (1994, p. 56). E a consequência disso nos leva às próprias inovações do *just in time* para refletir as atuais mudanças, na medida em que Coriat, ao descrever o método do *Kanban*, argumenta que essa “inovação, como se vê, é puramente organizacional e conceitual, nada de tecnológico aqui intervém” (1994, p. 57). Consideramos essa percepção valiosa para se pensar o significado da nova reestruturação produtiva, que combina inovações tecnológicas e organizacionais.

Assim, o toyotismo pode ser definido como um sistema de produção e gerenciamento industrial que busca reduzir ao máximo o tempo de rotação do capital, eliminando “desperdícios” e aumentando a eficiência por meio da sincronização dos processos produtivos com a demanda real, com implicações na potencialização da extração do mais valor, num processo de aprofundamento, com métodos de administração industrial, da subsunção do trabalho ao capital. O toyotismo não apenas organiza o processo produtivo, mas propõe um novo modo de gestão adaptado à mundialização do capital e à incorporação crescente das tecnologias de informação, antecipando as bases que hoje sustentam as transformações da Indústria 4.0.

Em perspectiva internacional, o que consideramos relevante para pensar a Indústria 4.0, Ohno aponta que a noção de que o que está em jogo com o toyotismo é criar um sistema de gerenciamento em um mundo que se direcionava para a mundialização do capital, a chamada globalização neoliberal. Se essa reflexão sobre o processo de rotação de capital em busca de evitar o desperdício foi um motor, a realização mais plena da reestruturação só podia se dar compreendendo a interligação da economia mundial e as condições colocadas pela Internet e as tecnologias de informação e comunicação. Assim, diz Ohno (1997, p. X) que:

O Sistema Toyota de Produção (...) não é apenas um sistema de produção. Eu estou confiante que ele revela sua força como um sistema gerencial adaptado à era atual de mercados globais e de sistemas computadorizados de informações de alto nível.

Na tradição marxista, François Chesnais (1996) descreveu esse contexto como “mundialização do capital”. David Harvey (2011, p. 140) conectou essa reflexão com o mundo do trabalho ao definir o período neoliberal como uma era em que operava a “acumulação flexível”. Esse conceito ajuda a elucidar as possibilidades que surgiram de acumulação diante de uma economia globalizada e da internacio-

nalização das cadeias de valor, que, ao mesmo tempo, criaram um solo fértil para a disseminação (ao menos de elementos) do toyotismo.

Aqui reside um *insight* importante para se pensar a Indústria 4.0, quando Ohno a define como “um sistema gerencial adaptado à era atual de mercados globais”. As reestruturações produtivas também podem se definir como “sistemas de gerenciamento” adaptados às condições colocadas. Essa ideia será importante quando formos pensar o significado da “quarta revolução industrial” e o sistema de gerenciamento que a ela corresponde, uma vez que dentre os efeitos patentes do pós-crise de 2008 estão o acirramento das disputas entre as potências, a ascensão de discursos protecionistas e nacionalistas, as guerras comerciais (como temos visto entre Estados Unidos e China) e as conflagrações militares duradouras, como a guerra entre Rússia e Ucrânia ou o caso dos ataques bélicos à Palestina. Desse modo, as condições de “acumulação flexível” e internacionalização das cadeias de valor não são as mesmas que as do auge da globalização neoliberal após a queda do muro de Berlim.

## **INDÚSTRIA 4.0: nova forma de subsunção real e o gerenciamento algorítmico**

Estão se completando dez anos que a expressão Indústria 4.0 se tornou recorrente no debate entre economistas e pesquisadores sobre as transformações que vêm ocorrendo na indústria em âmbito internacional. Parece consensual que Klaus Schwab, presidente do Fórum Econômico Mundial, foi quem primeiro descreveu o processo com essa terminologia, em artigo na *Foreign Affairs*, de 2015 (Schwab, 2015). Alasdair Gilchrist enfatizava em seu livro, de 2016, no contexto do início do debate, a importância da fusão da indústria com as últimas tecnologias, com destaque para a internet das coisas, razão pela qual ele opta, na definição da Indústria 4.0, pela noção de “*Industrial*

*internet of things*” (Gilchrist, 2016). Em 2019, Kumar, Zindani e Davim (2019) propunham o termo “*Intelligent manufacturing*”. Em uma bibliografia mais recente, Anthony Tarantino aborda como um sinônimo do termo poderia ser encontrado na expressão “*Smart Manufacturing*”, tendo essa referência sido usada pela primeira vez em 2014 (Tarantino, 2022). Mas ele mesmo argumenta sobre a importância de Schwab para a popularização do debate com o termo Indústria 4.0.

Embora possam mudar um pouco os componentes enfatizados como os mais importantes e ainda que o termo seja inerentemente polissêmico, o elemento essencial da definição de Indústria 4.0 seria a fusão entre os principais componentes industriais (incluindo a automação, robótica) e as tecnologias de digitalização da fábrica a partir da internet das coisas e do processamento de dados com inteligência artificial (especialmente *machine learning*), conformando sistemas ciberfísicos (CPS, Cyber-physics systems). Tarantino define do seguinte modo (2022, p. 2):

Uma definição mais detalhada de Smart Manufacturing [Fabricação Inteligente] é que ela engloba fabricação integrada por computador, altos níveis de adaptabilidade, mudanças rápidas de projeto, tecnologia de informação digital e treinamento de mão de obra técnica mais flexível. As ferramentas mais populares incluem dispositivos baratos de Internet das Coisas Industrial (IIoT), fabricação aditiva (também conhecida como impressão 3D), *machine learning* (aprendizado de máquina), *deep learning computer vision* [visão computacional de aprendizado profundo], dispositivos de computação móvel, computação de ponta [ou *cloud computing*, computação em nuvem], robótica e análise de Big Data.

Foi a interação dessas tecnologias que permitiu o desenvolvimento de uma *smart factory*, entendendo-a como uma fábrica em que o conjunto de suas operações está conectada à internet, gerando dados em cada etapa e, mais do que isso, sendo processados por ferramentas de inteligência artificial, que podem extrair desses dados padrões e tendências, observar a produtividade dos trabalhadores, atuar sobre

“gargalos” para a autovalorização do capital e planificar processos produtivos. Em termos sociológicos, a grande inflexão promovida pela Indústria 4.0 foi implementar a digitalização fabril, criando sistemas ciberfísicos nos quais o uso da inteligência artificial permite aprofundar o controle, a vigilância e a intensificação do trabalho, resultando num incremento substancial de mais-valor (Arias; Pinto, 2023; Carreira, 2024), um aprofundamento da subsunção real do trabalho ao capital.

Aqui vale nos atermos à definição conceitual do processo de *subsunção*. Tal terminologia foi desenvolvida por Karl Marx, particularmente no capítulo IV, inédito de *O Capital*, em uma elaboração realizada nos anos anteriores à publicação do primeiro volume, mas que não adentraram no projeto final, tendo sido publicado pela primeira vez apenas em 1933 (Antunes e Laan, 2022, p. 11). O conceito se refere a processos de “subordinação”, “sobreordenação”, submetimento do trabalho, que traduzimos na tradição brasileira como “subsunção”. Trata-se do processo histórico em que o trabalhador e seu ofício começam a integrar uma relação de capital, em que o trabalhador passa a não ser detentor nem dos meios de produção, nem das condições de subsistência (sua dependência do salário). De modo que “suas *condições objetivas de trabalho* (meios de produção) e *condições subjetivas de trabalho* (meios de subsistência) o confrontam como *capital*, como monopolizadas pelo comprador de sua capacidade de trabalho” (Marx, 2022, p. 94). Nesse processo de subsunção, na sua dimensão *formal*, Marx aponta que *o mais-valor absoluto* constitui a característica primordial da exploração, vinculada ao aumento da jornada de trabalho. Já *o mais-valor relativo* se torna a característica predominante ao analisar o que ele denominou de subsunção *real* do trabalho ao capital (Marx, 2022, p. 93). Nesse sentido, o incremento do capital constante, a socialização da produção e a nova condição do trabalho se tornar “um apêndice da máquina” estão na base do processo de subsunção real.

Justamente por isso, Marx, em *O Capital*, na sessão dedicada ao mais-valor relativo, apresenta inicialmente o percurso da cooperação,<sup>2</sup> a divisão do trabalho e a manufatura, e, em seguida, desenvolve separadamente e com maior profundidade o tema da maquinaria e a grande indústria. Esse movimento expressa o processo cada vez mais intenso de subsunção real, resultando em novas formas de controle e gerenciamento do trabalho, determinadas pelo desenvolvimento do capital constante, sobretudo pela maquinaria e suas tecnologias.

A utilização desse instrumental conceitual de Marx nos parece muito atual para refletir o gerenciamento algorítmico na Indústria 4.0, uma vez que vemos uma forma de gestão que consegue mapear e sistematizar em cada um dos processos produtivos, cada um dos elementos da atividade laboral, cada movimento do trabalhador em sua máquina, o que leva autores como Dyer-Withford, Kjosen e Steinhoff (2019, p. 21) a sugerirem o termo “hiper-subsunção”.<sup>3</sup> Nesse sentido, podemos falar em uma inflexão do controle com a inteligência artificial, um incremento da subsunção real do trabalho ao capital que pode ser definida como “gerenciamento algorítmico” (ou “gestão algorítmica”, do inglês *algorithm management*) (Möhlmann e Zalmanson, 2017). O conceito de gestão algorítmica do trabalho nasce conjuntamente aos processos de plataformação, em meados da década de 2010, mas tem uma acepção teórica ensaiada por Möhlmann e Zalmanson (2017, p. 4):

Definimos gerenciamento algorítmico como práticas de supervisão, governança e controle conduzidas por algoritmos de software sobre muitos trabalha-

dores remotos. Esses trabalhadores realizam tarefas em plataformas on-line, mas podem ser freelancers e não ser oficialmente empregados pela empresa. Argumentamos que o gerenciamento algorítmico é caracterizado pelo rastreamento e avaliação contínuos do comportamento e do desempenho dos trabalhadores, bem como pela implementação automática de decisões algorítmicas. Nas práticas de gerenciamento algorítmico, os trabalhadores interagem com um “sistema” em vez de com seres humanos. Em muitos casos, o sistema tem menos transparência, e os trabalhadores não têm conhecimento do conjunto de regras que regem os algoritmos.

Embora não seja parte do escopo desta reflexão destrinchar a relação entre a Indústria 4.0 e o setor de serviços, é precisamente essa inovação tecnológica – exportada da esfera industrial para setores plataformação e para a logística – que resulta em componentes centrais para compreender as últimas mudanças na chamada uberização e na amazonificação, ambas pautadas pelo gerenciamento algorítmico (Grohmann, 2020). Diversos autores têm explorado a precarização como traço constitutivo da uberização, seja em sua relação com a “protoforma do capitalismo” (Antunes, 2023), seja com o sistema *just-in-time* (Stefano, 2016; Abílio, 2020). Outros se dedicam a examinar a precarização vinculada ao que podemos denominar *amazonificação do trabalho* (Alimahomed-Wilson, 2023; Ness, 2023; Moody, 2020; Vallas et al., 2022; Martínez, 2024). No caso da Uber, observa-se como a integração entre infraestruturas de dados, como o Apache Kafka – plataforma especializada em lidar com grande volume de informações em tempo real (Fu; Soman, 2021) – e a implementação de inteligência artificial sustenta mecanismos de gerenciamento algorítmico que intensificam o controle laboral. Recursos como precificação dinâmica, otimização de rotas e monitoramento contínuo de desempenho são combinados à gamificação (Woodcock; Johnson, 2018; Vidigal, 2021) – por meio de missões, rankings e recompensas –, para estimular a competição entre motoristas, prolongar jornadas e transferir riscos e custos para os trabalhadores.

<sup>2</sup> “Assim como a força produtiva social do trabalho desenvolvida pela cooperação aparece como força produtiva do capital, também a própria cooperação aparece como uma forma específica do processo de produção capitalista, contraposta ao processo de produção de trabalhadores autônomos e isolados, ou mesmo de pequenos mestres. É a primeira alteração que o processo de trabalho efetivo experimenta em sua subsunção ao capital.” (Marx, 2013, p. 410).

<sup>3</sup> Segundo os autores citados: “Embora Marx tenha desenvolvido essa visão sombria por meio da análise da fábrica industrial, ela convida à reflexão sobre um estágio adicional de “hipersubsunção”, no qual a força autonomizadora do capital se manifesta como IA” (2019, p. 21 – tradução nossa).

No processo de amazonificação, pode-se observar como os princípios da Indústria 4.0 – integração ciberfísica, processamento massivo de dados e aprendizado de máquina – foram transpostos para a logística e o comércio, transformando armazéns em verdadeiros laboratórios de vigilância digital (Vallas; Johnston; Mommadova, 2022). A inteligência artificial não apenas “otimiza” fluxos de mercadorias e reduz tempos de circulação, mas também estrutura o cotidiano de milhões de trabalhadores, submetidos a monitoramento contínuo e a decisões automatizadas que chegam ao extremo da demissão algorítmica (Statt, 2021). Assim, em ambos os casos, pensar a combinação entre a experiência da Indústria 4.0 e o setor de serviços – na medida em que a industrialização e a digitalização deste setor têm se tornado um dos eixos estratégicos de acumulação de capital – é fundamental para compreender a nova reestruturação produtiva.

Essa digitalização do trabalho, impulsionada pela *industrial internet of things*, constitui, como observa Zuboff (2020), a base do incremento da vigilância laboral. Naturalmente, se toda a atividade é digitalizada e gera dados, a Indústria 4.0 pode chegar ao nível de controlar até mesmo os menores movimentos dos trabalhadores, conforme pode ser observado nos casos empíricos dela no Brasil, que apresentaremos a seguir.

Por fim, é preciso remarcar o aspecto da intensificação do trabalho, uma vez que o sonho de Henry Ford de colocar o trabalhador no limite humano de concentração no processo produtivo, nos limites da subsunção real do trabalho ao capital, parece começar a ser atingido na Indústria 4.0. Retomando a famosa expressão dialética segundo a qual os extremos se tocam, o que vemos nesse caso são duas tendências opostas se digladiando, conforme a própria lógica contraditória do capital. Por um lado, há a tendência de aumentar o capital constante em detrimento da variável, ou seja, de incrementar a maquinaria, a automação e a robótica, e crescer o desemprego. Por outro

lado, há a percepção de que o incremento necessário para essa implementação em escala global implica uma verdadeira “revolução industrial”, coisa que o capitalismo pós-Lehman Brothers (crise de 2008) não tem apresentado condições de fazer, com um novo padrão de acumulação que rejuvenescesse as possibilidades de investimento massivo. Ao mesmo tempo, os próprios apologistas das tecnologias 4.0 vaticinam os perigos que a automação generalizada implicaria, argumentando em torno de uma “narrativa coerente”, de modo a “evitar uma reação popular contra as mudanças fundamentais em curso”, conforme Klaus Schwab (2016, p. 17). Mas também mirando as consequências estratégicas econômicas, afinal, a extração de mais-valor do trabalho vivo é determinação fundamental da valorização.

## LABORATÓRIOS AUTOMOBILÍSTICOS: impactos práticos da Indústria 4.0

Analisemos, portanto, por detrás dos discursos do “fim do trabalho” pela via da inteligência artificial, o que realmente tem se expressado a partir do debate e de implementação da Indústria 4.0. Um estudo empírico realizado por Shuttleworth, Schmitz e Beier (2022) analisou os impactos da Indústria 4.0 no emprego industrial na Alemanha, comparando expectativas de trabalhadores em 2014 – período imediatamente posterior ao lançamento do conceito em 2011 – com dados de 2020. Os resultados revelaram que, ao contrário das previsões catastróficas iniciais, os efeitos sobre o emprego foram heterogêneos: enquanto setores de alta qualificação, como desenvolvimento, registraram maior demanda, não houve redução massiva de postos em montagem e manufatura. Um dado notável é a percepção dos próprios trabalhadores: em 2014, 58% dos entrevistados que trabalhavam em manufatura e 54% que trabalhavam em montagem esperavam diminuição de vagas, enquanto em 2020 esses índices caíram para 37% e 34%, respecti-

vamente (Shuttleworth; Schmitz; Beier, 2022, p. 595). Essa mudança reflete não apenas a dimensão real dos impactos da implementação das tecnologias, mas também o esvaziamento do discurso alarmista sobre o “fim do trabalho”, inicialmente instrumentalizado para fragilizar direitos trabalhistas.

Essa tendência não é exclusiva da Alemanha. Estudos comparativos evidenciam dinâmicas similares: na China e Coreia do Sul, Focacci (2021) demonstrou que a automação não necessariamente elevou o desemprego, enquanto no México, Ramos et al. (2022) identificaram aumento da demanda por mão de obra em setores de baixo risco de automação. Tais casos reforçam que os impactos da Indústria 4.0 são mediados por contextos socioeconômicos – como políticas educacionais e estrutura produtiva –, contrariando visões deterministas. Evidentemente que, no sonho da acumulação de capital, enxugar a força de trabalho em processos de demissão massiva (como pode ocorrer em setores específicos) seria um objetivo de primeira ordem, mas isso pressuporia a implementação das tecnologias com investimentos massivos, o que não tem acontecido.

Desse modo, o real significado deve ser buscado no impacto sobre as condições de trabalho e no incremento de novas formas de precarização, controle e vigilância. Isso é visível tanto nos casos que estamos discutindo, da Alemanha, Coreia do Sul, China e México, como também o é no Brasil, e aqui a análise do real alcance e do impacto da Indústria 4.0 pode ser elucidativa da tendência internacional aplicada. Vejamos dois casos dos estudos brasileiros das *smart factories*.

A pesquisa de Geraldo Augusto Pinto sobre a Mercedes-Benz em São Bernardo do Campo traz importante contribuição, com o estudo de caso da fábrica, para compreender os recursos tecnológicos implementados pela indústria 4.0 no contexto brasileiro. Em um artigo desenvolvendo as novas formas de controle com a assistência digital na Mercedes-Benz, Pinto (2020, p. 203) argumenta que:

os sistemas de assistência digital nos processos de trabalho [levam ao] (...) estabelecimento de uma infraestrutura de TI que conecta toda a fábrica, dos níveis gerenciais aos operacionais (...) Por um lado, proveem-se de informações dos postos de trabalho, seja por meio de monitores de computador ou por equipamentos vestíveis no chão de fábrica (como óculos de realidade aumentada – também chamados óculos de dados, tradução de *data glasses*). Por outro lado, coletam-se dados de todas as operações realizadas nesses postos, dados que são acumulados, organizados e utilizados em análises das condições de produção num intervalo de tempo cada vez menor, o que é do interesse da gestão capitalista, que prima pelo planejamento e pelo controle do trabalho humano quando posto a operar os meios de produção.

Essas novas formas de gerência sobre o trabalho, expressas na implementação de “exoesqueletos” em trabalhadores fabris, remetem a uma tecnologia militar desenvolvida nos anos 1960 para aumentar a força dos soldados, posteriormente adaptada para uso industrial (Russo et al., 2021). Esses dispositivos vêm sendo integrados a outras tecnologias, como os óculos de dados, em empresas como a Mercedes-Benz. Embora a pesquisa analisada não detalhe as formas específicas de coleta de dados envolvidas (Pinto, 2020, p. 204), o próprio autor sugere que os exoesqueletos podem ser equipados com sensores capazes de registrar dados em tempo real. Isso implicaria que cada movimento dos trabalhadores seria monitorado pela chamada “fábrica inteligente”, elevando a vigilância e o controle a um patamar sem precedentes. O mesmo pode ser observado em outro exemplo mencionado, o dos óculos de realidade aumentada, em que também são indicados “monitoramento e condução remota do trabalho humano, com traços evidentes de simplificação e de controle” (Pinto, 2020, p. 205). Desse modo, a pesquisa contribui significativamente ao mostrar os impactos da digitalização e do gerenciamento algorítmico no controle do trabalho, que vão desde *óculos de dados* e realidade aumentada até *exoesqueletos*.

Para um exemplo mais recente, igualmente elucidativo das tendências, vejamos o caso brasileiro da Jeep de Goiana, em Pernambuco. A importância de refletir sobre essa fábrica em específico é porque se trata de uma das mais tecnológicas fábricas da Indústria 4.0 no mundo (Bubbico, 2021), parte do grupo Stellantis, que forma o monopólio transnacional agregando ao menos 14 marcas: Fiat, Peugeot, Citroën, Jeep, Chrysler, Alfa Romeo, Dodge, Opel, Ram, Maserati, Vauxhall, Lancia, Abarth e DS. Uma fábrica implementada numa zona rural entre Pernambuco e a Paraíba, no Nordeste do Brasil, com 3 km de extensão em seu complexo de montagem e milhares de trabalhadores (Carreira, 2024).

A pesquisa na fábrica em Pernambuco revela aspectos similares aos encontrados no caso de São Paulo, como a digitalização da planta em função da intensificação, da vigilância e do controle do trabalho. Gabriel Carreira (2024), com uma pesquisa inovadora que inclui a experiência de estar como trabalhador no interior da fábrica por 4 meses, enumera uma série desses processos de controle e vigilância, sendo um dos exemplos destacados o das “apertadeiras” da fábrica na Jeep. Carreira (2024, p. 202) afirma que esse equipamento

está conectado aos computadores do posto de operação, localizados em cada posto de trabalho humano. Ao iniciar o turno, o operador realiza o login no computador registrando que está assumindo o posto, de forma que todas as informações de produção realizadas por este trabalhador são automaticamente armazenadas no banco de dados, para posterior análise e processamento para a patronal. Um dos dados coletados pela “apertadeira” é o torque utilizado no aperto do parafuso. Esta informação é vinculada ao chassi do veículo que está sendo montado. Desta forma, caso este veículo venha a apresentar um defeito de qualidade ao final da produção, ou até mesmo após a venda, ocasionando um acidente devido aquele parafuso por exemplo, é possível identificar pelo banco de dados qual operador o apertou, em que turno, em que hora, e qual foi o torque aplicado no aperto, abrindo assim a possibilidade responsabilizá-lo individualmente pelo defeito, o que é utilizado pelos gestores como chantagem para a disciplina do trabalho.

A passagem é bem elucidativa ao demonstrar o nível de controle (e chantagem) que pode implicar o gerenciamento algorítmico do trabalho.

Além disso, outra consideração decisiva está no próprio processo de produção do mais-valor. Os executivos da empresa em questão revelam o segredo guardado a sete chaves da Indústria 4.0: o nível do alcance de concentração do trabalhador agregando valor aos produtos em detrimento de outros afazeres. Desde as inovações de Taylor e Henry Ford no início do século, refletindo “cientificamente” a produção fabril, todo o desafio era manter o trabalhador, por maior quantidade de tempo e em melhores condições, agregando ininterruptamente valor sobre os produtos, processo expresso de maneira célebre pela imagem de Charles Chaplin em tempos modernos. Conforme detalhado na pesquisa de Carreira (2024) e vocalizado por Stefan Ketter, membro do conselho executivo e vice-presidente global de manufatura da FCA, que fixou residência em Recife em julho de 2013 para coordenar a construção da planta pernambucana, o segredo continua o mesmo, mas contando com as tecnologias de inteligência artificial. Em entrevista realizada em 2015, Ketter expressou essa questão decisiva do seguinte modo:

Cada operador gasta em média 70% de seu tempo de trabalho agregando valor ao produto e o resto com ajustes e buscando componentes ou ferramentas. Esse é o maior índice já conseguido por uma fábrica e é quase impossível avançar além disso. Nas montadoras japonesas, que são referências de eficiência, esse percentual varia de 60% a 65% (Automotive Business, 2015).

Se pudéssemos definir o significado da nova reestruturação produtiva, que tem a Indústria 4.0 como um dos pilares, poderíamos no concentrar nessa citação do executivo da Jeep, pois nela está contida parte fundamental do “milagre 4.0”: atingir 70% de tempo de trabalho da jornada de trabalho voltado diretamente a agregar valor, um feito que nem o

toyotismo japonês, conforme indicado pelo próprio executivo, conseguiu. Toda a articulação entre o sistema físico (com planta, máquinas, trabalhadores, ergonomia etc) e digital, incluindo a internet das coisas, processamento de dados *big data*, *machine learning*, *deep learning*, computação em nuvem e demais elementos, estão vinculados e determinados por um só ponto: conseguir aumentar, até o máximo humanamente possível, a transferência de valor na produção de mercadorias em uma dada jornada de trabalho. Essa é a história das reestruturações produtivas e esse é o novo avanço da reestruturação atual com a Indústria 4.0.

## CONCLUSÃO

A partir da análise histórica e teórica dos grandes ciclos de reestruturação produtiva – fordismo e toyotismo – e do exame dos seus desdobramentos contemporâneos na chamada Indústria 4.0, conclui-se que o novo paradigma tecnológico não representa uma simples evolução das inovações anteriores, mas sim uma intensificação qualitativa da subsunção real do trabalho ao capital. Ao integrar sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas Industrial e inteligência artificial, a Indústria 4.0 expande os mecanismos de controle e vigilância para um patamar sem precedentes, aprofundando a coordenação do ritmo e da qualidade da produção de capatazes e supervisores humanos com algoritmos autorregulados e em tempo real, implicando em intensificação laboral.

Especificamente, tendo em vista a compreensão da Indústria 4.0, nós partimos da crise de 2008 por representar um marco essencial para compreender as transformações contemporâneas no mundo do trabalho e da produção. Contextualizá-la permite não apenas identificar os limites das respostas capitalistas à crise, mas também vislumbrar as potencialidades abertas por novos arranjos tecnológicos e organizacionais. Em termos de continuidade na descontinuidade, para usar uma expressão

dialética hegeliana, a herança fordista se manifesta na centralização das tecnologias e na reconfiguração dos sistemas ciberfísicos, visando a intensificação da extração de valor por meio da concentração do trabalho, bem como utilizando a atmosfera ideológica da *quarta revolução industrial*, um paralelo com o *americanismo* no período fordista. Ao mesmo tempo, a Indústria 4.0 carrega traços do modelo toyotista, aprofundando lógicas como o *just-in-time*, a vigilância constante e o controle do tempo de trabalho, o que contribui tanto para a intensificação laboral quanto para a planificação mais integrada da produção, conectando fábricas, fornecedores e mercados de forma contínua e em tempo real.

Apontamos, a partir de Antonio Gramsci, que, na reflexão sobre uma verdadeira reestruturação produtiva, não se analisa apenas uma dada técnica implementada em uma dada fábrica. O que está em jogo quando analisamos esse fenômeno é a capacidade que um método industrial tem de reorganizar a produção em escala nacional e mesmo internacional, o que significa que seus impactos vão muito além de aspectos técnicos de alcance geográfico em apenas uma planta fabril, mas se referem a mudanças na organização da vida dos trabalhadores, no modo de vida da sociedade, de uma dada cultura societal. Parte das dificuldades está no fato de que os efeitos da crise de 2008 têm levado a novos ordenamentos econômicos e geopolíticos, com as disputas a partir da nova dinâmica da economia chinesa (Barbieri, 2025), o que tem levado a políticas protecionistas e nacionalistas, guerras comerciais e maiores tensões geopolíticas (Tonelo, 2021), afetando o sonho da globalização perpétua e sem conflitos das cadeias internacionais de valor, que estariam “livres” para a acumulação transnacional do capital.

O que nos leva a argumentar que, mais do que um fenômeno consolidado, o que estamos vivenciando é uma reestruturação produtiva em curso e em disputa (Robinson, 2020; Tonelo, 2020), em que o jogo de forças entre o

capital e trabalho é parte determinante de como se configurará essa reestruturação no próximo período. Entre suas características, têm como pilares a Indústria 4.0 e seus impactos no setor de serviços, e emerge a partir da clivagem produzida pela crise de 2008 e as transformações subsequentes no capitalismo internacional (Duménil; Lévy, 2014; Robinson, 2020).

Metodologicamente, buscamos traçar o quadro histórico das reestruturações, articulando-o com o fenômeno da Indústria 4.0 na contemporaneidade e recorrendo aos casos empíricos da *Mercedes-Benz* do ABC-SP e da *Jeep* de Goiana-PE para ilustrar as principais conclusões. Ainda que tenhamos enfatizado o desenvolvimento da Indústria 4.0 no plano fabril, indicamos também caminhos de reflexão sobre a possível transposição dessas tecnologias para o setor de serviços. Nessa perspectiva, evidenciamos que a implementação da inteligência artificial – tanto nas fábricas quanto nos serviços, igualmente atravessados por um processo de industrialização – constitui um elemento central para a análise do trabalho contemporâneo. Refletir sobre a Indústria 4.0, portanto, permite estabelecer conexões entre as formas de gerenciamento algorítmico desenvolvidas nos complexos fabris (com a digitalização e a internet das coisas) e sua crescente incorporação no setor de serviços, em mecanismos de controle e vigilância. As experiências das *smart factories* podem, assim, ser vistas como uma das raízes das tecnologias transpostas para os processos de industrialização dos serviços, como buscamos indicar ao analisar os fenômenos da uberização e da “amazonificação” do trabalho.

Compreender o fenômeno em seu processo dinâmico de transformação nesse caso é fundamental, e particularmente ter uma noção clara das possibilidades e obstáculos para a generalização da Indústria 4.0, dado os efeitos que seguem da Grande Recessão e da falta de um novo e vigoroso padrão de acumulação internacional. Ainda mais decisivo, ao nosso ver, é desvelar o que existe de novo nos

mecanismos de subsunção real do trabalho e gerenciamento algorítmico na Indústria 4.0, investigação necessária para pensar as formas de resistência do trabalho, a organização e o enfrentamento das novas formas de precarização laboral, diante dessa nova reestruturação do capital.

Recebido para publicação em 16 de maio de 2025  
Aceito para publicação em 14 de outubro de 2025  
Editor Chefe: Renato Francisquini Teixeira

#### **CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA:**

Iuri Tonelo – Conceitualização. Aquisição de financiamento. Investigação. Metodologia. Escrita – esboço, revisão e edição.

#### **DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS:**

Os dados deste artigo podem ser obtidos mediante solicitação ao autor correspondente.

## **REFERÊNCIAS**

- ABÍLIO, L. C. Uberização: a era do trabalhador just-in-time? *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 34, n. 98, p. 111-126, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-40142020000200008>
- ALIMAHOMED-WILSON, Jake. The e-logistics revolution: Amazon, labor, and the future of logistics work. In: NESS, Immanuel (Ed.). *Platform Labour and Global Logistics: A Research Companion*. New York: Routledge, 2023.
- ANTUNES, R. Trabalho e (des)valor no capitalismo de plataforma: três teses sobre a nova era de desantropomorfização do trabalho. In: ANTUNES, R. (Org.). *Icebergs à deriva: o trabalho nas plataformas digitais*. São Paulo: Boitempo, 2023. p. 13-39.
- ANTUNES, R. *Os sentidos do trabalho: ensaio sobre a afirmação e a negação do trabalho*. 2. ed., 10. reimp. rev. e ampl. São Paulo: Boitempo, 2009.
- ANTUNES, R.; VAN DER LAAN, M. Apresentação. In: MARX, K. *Capítulo VI (inédito): manuscritos de 1863–1867, O capital, Livro I*. Tradução de Ronaldo Vielmi Fortes. São Paulo: Boitempo, 2022. p. 7–20.
- ARIAS, A.; PINTO, G. A. A indústria 4.0: a agenda industrial alemã pós-crise de 2008. In: ANTUNES, R. (Org.). *Icebergs à deriva: o trabalho nas plataformas digitais*. São Paulo: Boitempo, 2023.
- AUTOMOTIVE BUSINESS. *Jeep faz futuro chegar rápido a Goiana*. São Paulo: Automotive Business, 28/04/2015. Disponível em: <https://www.automotivebusiness.com.br/noticias/jeep-faz-futuro-chegar-rapido-a-goiana>. Acesso em: 18/ abr. 2025.
- BACH, P. Estancamiento secular, fundamentos y dinámica de la crisis. *Estrategia Internacional*, ano 24, n. 29, p. 181–182, jan. 2016.
- BARBIERI, A. *China: onde os extremos se tocam*. São Paulo: Edições Iskra, 2025.

- BLACKBURN, R. The Subprime Crisis. *New Left Review*, n. 50, mar./abr. 2008.
- BODEK, N. Prefácio. In: OHNO, T. *O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala*. Tradução de Cristina Schumacher. Porto Alegre: Bookman, 1997. p. X-X.
- BRAVERMAN, H. *Trabalho e capital monopolista: a degradação do trabalho no século XX*. Tradução de Mario D. M. de Oliveira. 2. ed. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1980. 446 p.
- BUBBICO, D. Melfi no Brasil vinte anos depois: semelhanças e diferenças entre os investimentos greenfield da FCA em Melfi e em Goiana. In: LADOSKY, M. (Org.). *A indústria automobilística vista do espaço local: a experiência da Jeep (FCA) em Pernambuco e de outras montadoras*. Campina Grande: Editora da Universidade Federal de Campina Grande, 2021.
- BURAWOY, M. *Manufacturing consent: changes in the labor process under monopoly capitalism*. Chicago: University of Chicago Press, 1979.
- CARREIRA, G. F. N. *Jeep de Goiana (PE): um monstro inteligente. Indústria 4.0, inteligência artificial, automação ciber-física e extração de mais-valia na smartfactory mais moderna do Brasil*. 2024. Dissertação (Mestrado em Serviço Social) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.
- CHESNAIS, F. *A mundialização do capital*. Tradução de Silvana Finzi Foá. São Paulo: Xamã, 1996.
- CHESNAIS, F. La récession mondiale: moment, interprétations et enjeux de la crise. *Carré Rouge*, n. 39, 2008.
- CORIAT, B. *L'Atelier et le chronomètre: essai sur le taylorisme, le fordisme et la production de masse*. Paris: Christian Bourgois éditeur, 1979.
- CORIAT, B. *Pensar pelo avesso: o modelo japonês de trabalho e organização*. 2. ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 1994.
- DRUCK, M. G. Globalização e reestruturação produtiva: o fordismo e/ou japonismo. *Revista de Economia Política*, São Paulo, v. 19, n. 2 (74), p. 271-290, abr./jun. 1999.
- DUMÉNIL, G.; LÉVY, D. *A crise do neoliberalismo*. São Paulo: Boitempo, 2014.
- DYER-WITHEFORD, N.; KJØSEN, A. M.; STEINHOFF, J. *Inhuman power: artificial intelligence and the future of capitalism*. London: Pluto Press, 2019.
- FOCACCI, C. N. Technological unemployment, robotisation, and green deal: a story of unstable spillovers in China and South Korea (2008-2018). *Technology in Society*, v. 64, 101504, fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101504>.
- FORD, H. *Minha vida e minha obra*. Com colaboração de Samuel Crowther. Tradução de Silveira Bueno. São Paulo: Companhia Graphico-Editora Monteiro Lobato, 1925.
- FU, Yupeng; SOMAN, Chinmay. Real-time Data Infrastructure at Uber. In: SIGMOD '21: Proceedings of the 2021 International Conference on Management of Data, 20-25 June 2021, Virtual Event, China. New York: Association for Computing Machinery, 2021. p. 2134-2147. DOI: <https://doi.org/10.1145/3448016.3457552>
- GILCHRIST, A. *Industry 4.0: the industrial internet of things*. Bangken, Nonthaburi: Apress, 2016.
- GRAMSCI, A. *Cadernos do cárcere - caderno 22 (V): 1934: americanismo e fordismo*. Tradução de Lincoln Secco; Sílvia de Bernardinis. Rio de Janeiro: IGS-Brasil, 2024.
- GROHMANN, R. N. Plataformização do trabalho: entre dataficação, financeirização e racionalidade neoliberal. *Eptic On-Line (UFS)*, v. 22, p. 106-122, 2020.
- HARVEY, D. *A condição pós-moderna: uma pesquisa sobre as origens da mudança cultural*. Tradução de Adail Ubirajara Sobral; Maria Stela Gonçalves. 21. ed. São Paulo: Loyola, 2011.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for Industrie 4.0 scenarios: a literature review. In: ANNUAL HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 49., 2016, Estados Unidos. *Proceedings [...]*. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2016. p. 3928-3937.
- KLIMAN, A. *The failure of capitalist production*. London: Pluto Press, 2011.
- KRUGMAN, P. *iAcabad ya con esta crisis!*. Barcelona: Crítica, 2012a.
- KRUGMAN, P. Introdução. In: KEYNES, J. M. *Teoria geral do emprego, do juro e da moeda*. Tradução de Manuel Resende. São Paulo: Saraiva, 2012b. p. 23-31.
- KUMAR, K.; ZINDANI, D.; DAVIM, J. P. *Industry 4.0: developments towards the Fourth Industrial Revolution*. Singapore: Springer, 2019.
- LAPAVITSAS, C. Political economy of the Greek crisis. *Review of Radical Political Economics*, v. 50, n. 3, p. 407-418, set. 2018.
- MANDEL, E. *A crise do capital: os fatos e a sua interpretação marxista*. Tradução de Húarez Guimarães; João Machado Borges. São Paulo/Campinas: Ensaio/Editora da Unicamp, 1990.
- MANDEL, E. *O capitalismo tardio*. Tradução de Waltensir Dutra. 2. ed. São Paulo: Abril Cultural, 1985. (Coleção Os Economistas).
- MARTÍNEZ, Josefina L. *Amazon desde dentro: el secreto está en la explotación*. 1. ed. Madrid: Revista Contexto SL, 12 fevereiro 2024.
- MARX, K. *O capital: crítica da economia política. Livro I: o processo de produção do capital*. Tradução de Rubens Enderle. São Paulo: Boitempo, 2013.
- MARX, K. *O capital: crítica da economia política. Livro II: o processo de circulação do capital*. Tradução de Rubens Enderle e Leonardo de Deus. 1. ed. São Paulo: Boitempo, 2014.
- MARX, K. *Capítulo VI (inédito): manuscritos de 1863-1867, O capital, Livro I*. Tradução de Ronaldo Vielmi Fortes. São Paulo: Boitempo, 2022.
- MARX, K. *Para a crítica da economia política*. Tradução de José Arthur Giannotti e Edgard Malagodi. São Paulo: Nova Cultural, 1987. (Coleção Os Pensadores).
- MCNALLY, D. From financial crisis to world-slump: accumulation, financialisation, and the global slowdown. *Historical Materialism*, v. 17, n. 2, p. 35-83, 2009.
- MOODY, Kim. Amazon: Context, Structure and Vulnerability. In: ALIMAHOMED-WILSON, Jake; REESE, Ellen (org.). *The Cost of Free Shipping: Amazon in the Global Economy*. London: Pluto Press, 2020.
- MÖHLMANN, M.; ZALMANSON, L. Hands on the wheel: navigating algorithmic management and Uber drivers' autonomy. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS - ICIS, 2017, Seoul. *Proceedings [...]*. Seoul: [s.n.], 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/319965259>. Acesso em: 17 abr. 2025.
- NESS, Immanuel (Ed.). *Platform Labour and Global Logistics: A Research Companion*. New York: Routledge, 2023.
- OHNO, T. *O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala*. Tradução de Cristina Schumacher. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- PINTO, G. A. A Indústria 4.0 na cadeia automotiva: a Mercedes-Benz em São Bernardo do Campo. In: ANTUNES,

- R. (Org.). *Uberização, trabalho digital e Indústria 4.0*. São Paulo: Boitempo, 2020.
- RAMOS, M. E.; GARZA-RODRÍGUEZ, J.; GIBAJA-ROMERO, D. E. Automation of employment in the presence of Industry 4.0: the case of Mexico. *Technology in Society*, v. 68, 101837, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101837>. Acesso em: 15 maio 2025.
- ROBINSON, W. I. Global capitalism post-pandemic. *Race & Class*, v. 62, n. 2, p. 3–13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1177/0306396820951052>.
- ROUBINI, N. *A economia das crises: um curso-relâmpago sobre o futuro do sistema financeiro internacional*. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2010.
- RUSSO, A. C. et al. O impacto da Indústria 4.0 na ergonomia dos trabalhadores do setor automobilístico. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2, p. 18564–18575, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n2-189. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/24516>. Acesso em: 15 maio 2025.
- SCHWAB, K. The Fourth Industrial Revolution. *Foreign Affairs*, 12 dez. 2015. Disponível em: <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>. Acesso em: 15 maio 2025.
- SHUTTLEWORTH, L.; SCHMITZ, S.; BEIER, G. Impacts of Industry 4.0 on industrial employment in Germany: a comparison of industrial workers' expectations and experiences from two surveys in 2014 and 2020. *Production & Manufacturing Research*, v. 10, n. 1, p. 583–605, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/21693277.2022.2104400>. Acesso em: 15 maio 2025. SCHWAB, K. *A quarta revolução industrial*. Tradução de Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016.
- STATT, N. *Fired by Bot: Amazon turns to machine managers and workers are losing out*. Bloomberg, 28 jun. 2021. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/features/2021-06-28/fired-by-bot-amazon-turns-to-machine-managers-and-workers-are-losing-out>. Acesso em: 15 maio 2025.
- STEFANO, Valerio de. The rise of the “just-in-time workforce”: on-demand work, crowdwork, and labor protection in the “gig-economy”. *Comparative Labor Law & Policy Journal*, v. 37, n. 3, p. 471–504, 2016.
- TARANTINO, A. *Smart manufacturing: the Lean Six Sigma way*. 1. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2022.
- TAYLOR, F. W. *Princípios da administração científica*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1995.
- TONELO, I. *No entanto, ela se move: a crise de 2008 e a nova dinâmica do capitalismo*. 1. ed. São Paulo: Boitempo; Iskra, 2021. v. 1. 288 p.
- TONELO, I. Uma nova reestruturação produtiva pós-crise de 2008? In: ANTUNES, R. (org.). *Uberização, trabalho digital e Indústria 4.0*. 1. ed. São Paulo: Boitempo, 2020. p. 139-148.
- TONELO, I. Beyond fragmentation: challenges of the world of work in the face of ongoing productive restructuring. *Global Journal of Human Social Sciences*, p. 1-9, 2023.
- VALLAS, S. P.; JOHNSTON, H.; MOMMADOVA, Y. Prime suspect: mechanisms of labor control at Amazon's warehouses. *Work and Occupations*, v. 49, n. 4, p. 421–456, 2022. DOI: 10.1177/07308884221106922.
- VIDIGAL, V. Game over: a gestão gamificada do trabalho. *Movimentação*, v. 8, n. 14, p. 44-64, 2021. DOI: <https://doi.org/10.30612/mvt.v8i14.15018>
- WOODCOCK, J.; JOHNSON, M. *Gamification: What it is, and how to fight it*. The Sociological Review, v. 66, n. 3, p. 542-558, 2018
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. *The machine that changed the world*. New York: Macmillan Publishing Company, 1990.
- ZUBOFF, S. *A era do capitalismo de vigilância: a luta por um futuro humano na nova fronteira do poder*. Tradução de George Schlesinger. 1. ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2020.

**Iuri Tonelo** – Doutor em Sociologia pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Professor do Departamento de Ciências Sociais da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp). Integra o grupo de pesquisa “O Mundo do Trabalho e Suas Metamorfoses” - GEMT (UNICAMP) e do Grupo de Estudos em Sociologia do Trabalho e dos Ofícios - GESTO (UFPE). É autor do livro “No entanto, ela se move: a crise de 2008 e a nova dinâmica do capitalismo” (Boitempo/Iskra, 2021).

---

**THE NEW PRODUCTIVE RESTRUCTURING: Industry 4.0, real subsumption and algorithmic management***Iuri Tonelo*

This article investigates how Industry 4.0 transforms and impacts the world of work, understanding it not only as technological advancement (artificial intelligence, cyber-physical systems), but as the basis for new forms of algorithmic management that go beyond the manufacturing environment. The objective is to analyze how these technologies reconfigure control, surveillance, and the intensification of work, deepening the process of the real subsumption of labor under capital. Methodologically, studies on Fordism and Toyotism are revisited to identify continuities, ruptures, and limits of Industry 4.0 as an expression of productive restructuring on a global scale, and empirical analyses are conducted both internationally and in the Brazilian cases of Mercedes-Benz (SP) and Jeep (PE). It is concluded that the diffusion of these technologies consolidates more complex mechanisms of labor exploitation, mediated by algorithms and data.

KEYWORDS: Industry 4.0. Work. Algorithmic control. Real subsumption. Productive restructuring.

**LA NUEVA REESTRUCTURACIÓN PRODUCTIVA: Industria 4.0, subsunción real y gestión algorítmica***Iuri Tonelo*

Este artículo investiga cómo la Industria 4.0 transforma e impacta el mundo laboral, entendiéndola no solo como un avance tecnológico (inteligencia artificial, sistemas ciberfísicos), sino como la base de nuevas formas de gestión algorítmica que trascienden el entorno fabril. El objetivo es analizar cómo estas tecnologías reconfiguran el control, la vigilancia y la intensificación del trabajo, profundizando el proceso de subordinación real del trabajo al capital. Metodológicamente, se retoman estudios sobre el fordismo y el toyotismo para identificar continuidades, rupturas y límites de la Industria 4.0 como expresión de una reestructuración productiva a escala global, y análisis empíricos tanto internacionales como de los casos brasileños de Mercedes-Benz (SP) y Jeep (PE). Se concluye que la difusión de estas tecnologías consolida mecanismos más complejos de explotación laboral, mediados por algoritmos y datos.

PALABRAS CLAVE: Industria 4.0. Trabajo. Control algorítmico. Subsunción real. Reestructuración productiva.