

ETAPAS PARA IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0: UMA VISÃO SOB ASPECTOS ESTRATÉGICOS E OPERACIONAIS

GABRIELLY ARAUJO CORDEIRO (Unicamp)

gabytelec@gmail.com

Robert Eduardo Cooper Ordonez (Unicamp)

cooper@fem.unicamp.br

Rodrigo Ferro (Unicamp)

rodrigo.ferro@sieen.com.br

Pedro Barsante Nicolela (Unicamp)

pedronicolela@gmail.com

Bruno Chiavegato Stella (Unicamp)

brunocstella@gmail.com



A Indústria 4.0 é um conceito que está ganhando relevância na indústria e na academia, especialmente pelas mudanças tecnológicas nos níveis de conectividade do sistema de produção. Basicamente a Indústria 4.0 se faz presente em ferramentas que promovem um amplo armazenamento e acesso aos dados gerados pelos produtos, chamados de Internet das coisas, além de ferramentas que permitem um nível mais elevado na tomada de decisões no ambiente de fábrica, possibilitando inclusive a reprogramação das máquinas com pouca, ou nenhuma intervenção humana. Entretanto, este tema é tido como novo e por isso algumas definições ainda não são muito claras. Este trabalho tem como objetivo definir alguns conceitos centrais do

contexto da Indústria 4.0 com o intuito de estruturar uma proposta com etapas de implantação. Para isso, realizou-se uma pesquisa exploratória cuja abordagem do contexto da Indústria 4.0 está embasada basicamente na revisão da literatura. Ao final foi possível desenvolver um fluxo de atividades necessárias para a implantação do conceito de Indústria 4.0 nas empresas.

Palavras-chave: Indústria 4.0, etapas de implantação, Sistemas Ciberfísicos, Internet das Coisas, Big Data

1. Introdução

A evolução dos formatos de produção atravessou três principais transformações marcadas por quebras de paradigmas tecnológicos. Sintetizando, a Primeira Revolução Industrial ocorreu devido a mecanização da produção, a Segunda Revolução foi impulsionada pelo advento da energia elétrica e da produção em massa, por fim, a Terceira Revolução, que permanece até os dias de hoje, teve como base a utilização da Tecnologia da Informação (TI) e da eletrônica para estruturar a automação de processos.

Recentemente, encontra-se em ênfase a discussão sobre o surgimento de uma nova Revolução Industrial, conhecida pelo termo Indústria 4.0 (*Industrie 4.0*). O contexto da Indústria 4.0 tem um enorme potencial tecnológico envolvido, principalmente em relação a comunicação de dados efetuada por meio da Internet das Coisas e devido ao desenvolvimento da auto configuração e auto gerenciamento de equipamentos e sistemas produtivos, superando desta forma o paradigma da interação entre o homem e a tecnologia. De maneira geral, a Indústria 4.0 proporciona diferentes formas de gerenciamento e controle do processo, contribuindo para o aumento do nível de flexibilidade da indústria e para o desenvolvimento da customização em massa dos produtos.

Segundo a Conferência Nacional da Indústria (2016), este conceito vem tomando destaque a nível mundial e ganhou um lugar no planejamento do desenvolvimento industrial de vários países, como: Alemanha, Estados Unidos, China, Japão e Coreia do Sul. Especialmente na Alemanha, a Indústria 4.0 é um assunto prioritário considerado uma iniciativa estratégica do governo para assegurar e aumentar a competitividade da indústria, cujo foco consiste em torna-los os fornecedores principais das soluções.

No cenário brasileiro, o Ministério das Comunicações direcionou esforços para o desenvolvimento do "Plano Nacional de Comunicação Máquina a Máquina (M2M) e Internet das Coisas" por intermédio da criação de um grupo orientado para o estudo da Indústria 4.0 e da estruturação de um plano para utilização deste conceito no Brasil (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2016).

Certas movimentações pontuais da Indústria 4.0 podem ser vistas no Brasil, algumas empresas já possuem um bom índice de automação, como por exemplo, há células em operação com tecnologia 4.0 na indústria automotiva, estas utilizam comunicação *wireless* para enviar uma informação e com base no dado recebido sensores indicam qual material deve ser utilizado, caso seja retirado o item errado a esteira da linha de produção responde parando automaticamente (AGÊNCIA AUTO DATA, 2017).

No campo da pesquisa, ainda há um número baixo de publicações científicas que retratam o contexto da Indústria 4.0 com uma clara definição dos conceitos e da estrutura de operacionalização. Nesta área, existe uma variedade de definições que estão formuladas conforme o entendimento e perspectiva das discussões realizadas por grupos de estudo e empresas pertencentes a diferentes contextos (KHAN e TUROWSKI, 2016; BRETTEL *et al.*, 2014).

Khan e Turowski (2016) reforçam que a Indústria 4.0 é uma área de pesquisa relativamente nova. Oesterreich e Teuteberg (2016), por meio de um estudo de revisão de literatura sistemática, apontam o pequeno número de citações referente ao assunto Indústria 4.0 quando comparados com outros tópicos específicos, por exemplo Mineração de Dados, que também estão envolvidos nesta grande área de pesquisa.

Os mesmos autores mencionam que existe na literatura a necessidade do desenvolvimento de uma visão mais aprofundada do estado da arte e do estado de aplicações práticas voltadas para setores específicos da indústria, além disso, precisam ser estruturados estudos focando no potencial do uso das tecnologias e suas implicações para a economia, sociedade, empresas, pessoas, processos, ambiente e ética, tornando este contexto bem complexo.

Uma grande barreira para o desenvolvimento e adoção da Indústria 4.0 consiste na ausência de conhecimento sobre o tema por parte das universidades e da indústria (AGÊNCIA AUTO DATA, 2017). Estas informações evidenciam a necessidade do fortalecimento do conhecimento voltado para esta área de pesquisa, cujo o foco seja tornar claro os conceitos, barreiras, desafios e estruturas que envolvem a sua aplicação.

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo definir alguns conceitos centrais do contexto da Indústria 4.0 com o intuito de estruturar uma proposta com etapas de implantação, considerando aspectos de gestão e operacionais.

2. Revisão da literatura

Este tópico apresenta uma contextualização da Indústria 4.0 e definição dos principais aspectos que envolvem sua implantação.

Os conceitos de Sistemas Ciberfísicos, Internet das Coisas e *Big Data* serão detalhados devido estarem relacionados com os aspectos chave de funcionamento da Indústria 4.0, sendo estes: nova configuração da estrutura do processo produtivo, operacionalização da rede de comunicação, armazenamento e tratamento das informações.

Demais conceitos e tecnologias citados no texto, serão aprofundados em trabalhos futuros.

2.1. Indústria 4.0

O cenário de mudanças radicais sugerido pela Indústria 4.0 necessita de um grande potencial tecnológico, em virtude desta natureza muitos autores nomeiam este movimento com o termo 4º Revolução Industrial. Esta tendência pode ser inserida no contexto do desenvolvimento dos modelos de administração da produção, devido à quebra de um paradigma tecnológico que possibilitará uma evolução no cenário atual de produção e pelo possível surgimento de novas formas de organização do trabalho.

Kagermann *et al.* (2013) destaca o grande potencial da Indústria 4.0 por conta da possibilidade de customização do produto, aumento da flexibilidade do processo, otimização da tomada de decisão por meio do processamento e compartilhamento da informação em tempo real, melhora na eficiência e produtividade dos recursos, e por fim, novas oportunidades de criação de valor.

A principal estratégia para a implantação da Indústria 4.0 consiste resumidamente na obtenção dos seguintes aspectos: integração horizontal das redes de valor a nível estratégico, integração

digital total da engenharia com toda cadeia de valor a nível de processo de negócio, integração vertical e redes de sistemas de produção (OESTERREICH e TEUTEBERG ,2016; KAGERMANN *et al.*, 2013). Para obtenção de uma estrutura com estes requisitos, é necessário a utilização de Sistemas Ciberfísicos, que possibilitem o funcionamento do processo produtivo com compartilhamento de informações nos ambientes interno e externo da empresa.

Anderl (2014) define que o aspecto fundamental da Indústria 4.0 refere-se à utilização da habilidade dos Sistemas Ciberfísicos em proporcionar inteligência e comunicação para sistemas técnicos, os quais assumindo esta configuração passam a ser denominados sistemas inteligentes.

Alguns conceitos e tecnologias chaves relacionados ao ambiente Indústria 4.0 foram listados por Oesterreich & Teuteberg (2016) em sua investigação do estado da arte referente a temática, como resultado são apresentados 15 conceitos/tecnologias agrupados em 3 grupos, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais tecnologias e conceitos no contexto da Indústria 4.0

Grupo	Tecnologias / Conceitos
Fábrica Inteligente	Sistemas Ciberfísicos ou <i>Cyber-Physical Systems</i> (CPS)
	Sistemas Embarcados
	Identificador por Rádio Frequência ou <i>Radio-Frequency Identification</i> (RFID)
	Internet das Coisas ou <i>Internet of Things</i> (IoT)
	Internet dos Serviços ou <i>Internet of Services</i> (IoS)
	Automação
	Modularização / Pré-fabricação
	Manufatura Aditiva
	Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto ou <i>Product-Lifecycle-Management</i> (PLM)
Simulação e Modelagem	Robótica
	Interação Homem - Computador ou <i>Human-Computer-Interaction</i> (HCI)
	Ferramentas de Simulação
	Modelos de Simulação
	Realidade Aumentada ou <i>Augmented Reality</i> (AR)
Digitalização e Virtualização	Realidade Virtual ou <i>Virtual Reality</i> (VR)
	Realidade Mista ou <i>Mixed Reality</i> (MR)
	Computação em Nuvem
	<i>Big Data</i>
	Computação Móvel
	Mídia Social
	Digitalização

Fonte: Adaptado de Oesterreich & Teuteberg (2016)

As informações apresentadas retratam um panorama generalista da Indústria 4.0, no qual os grupos com maior número de tecnologia associada são respectivamente Fábrica Inteligente, Digitalização e Virtualização, Simulação e Modelagem. Esta listagem facilita o direcionamento de pesquisas sobre a Indústria 4.0 e melhor visualização do cenário com base nos termos presente na literatura.

Alguns autores indicam fatores tecnológicos imprescindíveis para a configuração da Indústria 4.0, dentre eles destacam-se: Fábricas Inteligentes ou *Smart Factories*, Internet das Coisas ou *Internet of Things* (IoT), *Big Data* e Computação nas Nuvens (OESTERREICH e TEUTEBERG, 2016; Kagermann *et al.*, 2013).

2.1.1. Sistemas Ciberfísicos

Os Sistemas Ciberfísicos, conhecidos também como *Cyber-Physical Systems* (CPS), compreendem a uma estrutura que possibilita a integração entre os ambientes virtual e o físico. Sistemas Ciberfísicos são integrações de computadores, redes e processos físicos, em que sistemas em rede monitoram e controlam os processos físicos, que por sua vez, retornam os dados da produção fazendo com que aconteça o ciclo constante de troca de informações (CYBER – PHYSICAL SYSTEMS, 2012).

Kagermann *et al.* (2013) definem os Sistemas Ciberfísicos como um conjunto composto por máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção, capazes de trocar informações, desencadear ações e controles de forma autônoma e harmonicamente, este funcionamento ocorre em tempo real no ambiente da Fábrica Inteligente.

Oesterreich e Teuteberg (2016) mencionam que este sistema é composto por tecnologias essenciais, como: Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PLM), Modularização e Robótica, Computação Móvel e Identificador por Rádio Frequência (RFID), porém não se restringem somente a estes.

Os Sistemas Ciberfísicos são uma estrutura chave para o funcionamento da Fábrica Inteligente, portanto sem este conceito seria impossível o desenvolvimento da Indústria 4.0.

2.1.2. Internet das Coisas

A Internet das Coisas, ou *Internet of Things* (IoT), está se tornando a maior tendência de desenvolvimento no setor de tecnologia da comunicação (MIORANDI *et al.*, 2012).

O IoT possibilita que dispositivos físicos se conectem em rede para troca de informações/dados entre diferentes níveis de hierarquia. Khan e Turowski (2016) definem brevemente IoT como uma rede de dispositivos conectados.

Segundo Oesterreich e Teuteberg (2016), dentre os benefícios que a tecnologia IoT pode gerar, encontra-se a capacidade dos equipamentos enviarem dados de desempenho para serem analisados pelo grupo de engenharia, contribuindo desta forma para a estratégia da integração digital da engenharia com a cadeia de valor.

Além disso, esta tecnologia ajuda a empresa a obter o *Big Data* completo da cadeia de suprimentos do produto, o que acarreta melhorias como melhor planejamento do armazenamento e distribuição, e conseqüentemente redução dos custos (CAO e ZHANG, 2016).

2.1.3. Big Data

O *Big Data* é uma inovação na área de Tecnologia da Informação que possibilita fazer simulações otimizadas de dados em tempo real, gerando uma economia de tempo e custo, além de redução de riscos (KAGERMANN *et al.*, 2013). Segundo Lee *et al.* (2015), o *Big Data* consiste basicamente no grande volume de dados que são gerados pela utilização de sensores e máquinas em rede

Esta estrutura possibilita a coleta correta de dados de diferentes tipos e provenientes de diversas fontes, como sensores, computadores, sistemas de TI, máquinas, pessoas, entre

outros. Também proporciona o acesso ao histórico de informações geradas por toda a cadeia de valor integrada.

Entre os benefícios da utilização de uma plataforma *Big Data* no ambiente industrial, podem ser citados: melhora a capacidade de mineração de dados, coleta grandes quantidades de informações de diferentes dispositivos, melhora o poder de computação e a capacidade de digerir os dados do sistema de informação da empresa, além de alcançar a análise em tempo real dos dados do produto, dados de operação, dados de vendas e dados de clientes (CAO e ZHANG, 2016).

O Big Data é considerado um desafio para a implantação da indústria 4.0, pois consiste em um conjunto de dados que são coletado de diferentes fontes (dados dos sensores de máquinas, dados de qualidade, dados de logísticas, entre outros), tornando necessário uma grande estrutura que armazene, processe e gerencie as informações, além disso, a falta de padronização no gerenciamento dos dados é uma barreira para a operacionalização, visto que o atual ambiente da indústria dispõe de informações heterogêneas (KHAN e TUROWSKI, 2016).

Neste sentido esforços devem ser direcionados ao aprimoramento do conhecimento em saber como adquirir, utilizar e interpretar da melhor forma o real valor que todos estes dados geram, auxiliando assim na tomada de decisões.

3. Metodologia

Para atender os objetivos da pesquisa, foi realizada uma pesquisa exploratória cujo a abordagem do contexto da Indústria 4.0 está embasada basicamente na revisão da literatura.

O estudo possui seu objetivo de caráter exploratório, visto que se buscou o esclarecimento de conceitos centrais do tema Indústria 4.0 para o melhor entendimento do funcionamento deste ambiente, possibilitando a construção de uma proposta de etapas de implantação. Pesquisas exploratórias objetivam desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias relacionados ao ambiente investigado (GIL, 2008).

No que se refere à utilização da pesquisa bibliográfica, esta possibilitou reunir o material teórico sobre a Indústria 4.0 mediante a busca feita, principalmente, em artigos fornecidos pelas bases de dados científicas, anais de congressos internacionais, relatórios governamentais e reportagens. Este procedimento de coleta de dados, viabilizou uma análise de diferentes pontos de vista de vários autores e proporcionou a identificação de motivações para o desenvolvimento do estudo na área de Indústria 4.0, contribuindo para a construção do conhecimento e da ciência.

Gil (2008) menciona que a principal vantagem na realização da pesquisa bibliográfica consiste no fato de permitir que o investigador cubra uma gama bem ampla de informações, o que colabora bastante para áreas de pesquisa relativamente novas.

4. Abordagem estratégica de implantação da arquitetura da Indústria 4.0

Perante panorama apresentado sobre a Indústria 4.0 e seus principais conceitos, apresenta-se neste tópico uma proposta estruturada em etapas de implantação que estimule e guie as empresas a introduzirem os aspectos da Indústria 4.0 em seu benefício.

As etapas sugeridas foram baseadas na proposta de Geissbauer *et al.* (2016), introduzindo novas abordagens de outras fontes literárias.

Visando atingir o objetivo de se inserir no ambiente da Indústria 4.0, as empresas devem se orientar em seis principais etapas, são elas: mapear uma estratégia para a Indústria 4.0, iniciar projetos pilotos, definir as capacidades necessárias, especializar-se em análise de dados, aumentar a digitalização da empresa e comunicar a cadeia de valor.

I) Mapear uma estratégia para a Indústria 4.0

Nesta primeira etapa, a empresa deve fazer uma autoavaliação, analisando o seu nível de maturidade e objetivo que deseja alcançar. Para tanto, é recomendável a utilização de um modelo de avaliação da maturidade, conforme mostrado na Tabela 2.

Após esta análise, também é necessário refletir sobre as principais barreiras e desafios do ambiente da Indústria 4.0, bem como ter suas definições esclarecidas. Para esta finalidade, a

Tabela 3 apresenta um resumo dos principais aspectos que devem ser levados em consideração.

Com a identificação do estágio atual de maturidade da empresa e reflexão sobre os desafios e barreiras a serem enfrentados, deve-se então definir metas realísticas para atingir o nível desejado de desenvolvimento e seguir para a próxima etapa proposta.

Tabela 2 – Modelo de avaliação de maturidade para desenvolvimento de capacidades da Indústria 4.0

Estágios de Desenvolvimento / Dimensões	"Iniciante" digital	Integrador vertical	Colaborador horizontal	"Avançado" digital
Modelos de negócios e acesso de clientes digitais	Primeiras soluções digitais e aplicativos isolados.	Portfólio de produtos digitais e serviços com <i>software</i> , rede (M2M) e dados com diferenciais importantes.	Soluções de cliente integradas ao longo das fronteiras da cadeia de suprimento, colaboração com parceiros externos.	Desenvolvimento de novos modelos de negócio com portfólio inovador de produtos e serviços.
Digitalização de ofertas de produtos e serviços	Presença <i>on-line</i> separada dos canais <i>off-line</i> , foco no produto e não no cliente.	Distribuição multicanal com uso integrado de canais <i>on-line</i> e <i>off-line</i> . Análise implementada.	Abordagem de cliente individualizado e interação com parceiros da cadeia de valor. Interfaces integradas e compartilhadas.	Gestão integrada da jornada do cliente ao longo dos canais de vendas e marketing digitais.
Digitalização e integração de cadeias de valor verticais e horizontais	Subprocessos digitalizados e automatizados. Integração parcial incluindo produção ou com parceiros internos e externos. Processos padrão para colaboração parcialmente definidos.	Digitalização vertical e processos internos padronizados e harmonizados, fluxo de dados dentro da empresa. Integração limitada com parceiros externos.	Integração horizontal dos processos e fluxo de dados com clientes e parceiros externos, uso intensivo de dados por meio da integração total de toda a rede.	Ecossistema de parceiros integrado, totalmente digitalizado, com processos virtualizados e auto-otimizados, foco em competência essencial. Autonomia descentralizada. Acesso a um conjunto de informações quase em tempo real.
Núcleo de análise e dados	Capacidades analíticas baseadas principalmente em extração de dados semimanual. Monitoramento e processamento de dados selecionados, sem gestão de eventos.	Capacidades analíticas suportadas pelo sistema de inteligência de negócio isolado. Sistema de apoio a decisão não padronizado.	Sistema de inteligência de negócio central, consolidando fontes de informações relevantes, internas e externas. Análises preditivas. Sistemas específicos de apoio à decisão e de gestão de eventos.	Uso central de análise preditiva para otimização em tempo real e manipulação automatizada de eventos com banco de dados inteligente e algoritmo de autoaprendizagem, permitindo análise de impacto e apoio à decisão.
Arquitetura de TI ágil	Arquitetura de TI fragmentada- <i>in-house</i> .	Arquitetura de TI homogênea <i>in-house</i> . Conexão entre diferentes cubos de dados em desenvolvimento.	Arquitetura de TI em comum na rede de parceiros. Único <i>data lake</i> interligado com arquitetura de alto desempenho.	<i>Data lake</i> único com funcionalidades de integração de dados externos e organização flexível. Barramento de serviço de parceiro, troca segura de dados.
Compliance, segurança, legal e fiscal	Estruturas tradicionais. Digitalização fora do foco.	Desafios digitais reconhecidos, mas não amplamente abordados.	Risco legal consistentemente abordado com os parceiros de colaboração.	Otimização da rede de cadeia de valor para <i>compliance</i> , questões legais e fiscais.
Organização, funcionários e cultura digital	Foco funcional em "silos".	Colaboração interfuncional mas não estruturada, e realizada de forma inconsistente.	Colaboração além das fronteiras da empresa, cultura e incentivo ao compartilhamento.	Colaboração como um dos principais fatores de geração de valor.

Fonte: PricewaterhouseCoopers Brasil Ltda (2016)

Tabela 3 – Barreiras e desafios para a implantação da Indústria 4.0

Desafios / Barreiras	Descrição	Autores
Alto investimento	Novos perfis tecnológicos irão exigir grandes investimentos em infraestrutura e capacitação.	Oesterreich e Teuteberg (2016)
Novo perfil de competências profissionais	Demanda por um novo perfil de profissional com conhecimento mais específico e/ou técnico sobre o funcionamento do novo modelo manufatura inteligente. A grande dificuldade atual é a existência de um conjunto limitado trabalhadores qualificados, porém este fator pode ser encarado como oportunidade de desenvolvimento pessoal. Por parte da empresa, deve-se implementar estratégias de treinamento e promover a cultura de compartilhamento das boas práticas realizadas.	Oesterreich e Teuteberg (2016), Prause e Weigand (2016), Khan e Turowski (2016), Kagermann <i>et al.</i> (2013)
Aceitação dos funcionários	Resistência a mudanças e receio da troca de mão-de-obra por equipamentos inteligentes. Dificuldade de aceitação tecnológica e do conhecimento associado.	Oesterreich e Teuteberg (2016), Khan e Turowski (2016), Kagermann <i>et al.</i> (2013)
Falta de padronização e arquiteturas de referência	Conceitos ainda estão em fase de construção, é possível perceber uma diversidade de propostas, porém sem formação de modelos padrões que melhoram a adoção da tecnologia. As propostas de modelo devem abranger um nível estratégico e padronização de aspectos técnicos, objetivando facilitar a implementação.	Oesterreich e Teuteberg (2016), Khan e Turowski (2016), Kagermann <i>et al.</i> (2013)
Segurança	Informações confidenciais sobre o projeto do produto e o ambiente de produção de uma determinada empresa são geradas, logo deve existir um aspecto de segurança de dados impedindo o vazamento e informações e acesso de usuários não autorizados. A estrutura de segurança é preocupante, pois este novo ambiente da Indústria 4.0 envolve um processo dinâmico de compartilhamento, colaboração, mobilidade, grandes volumes de dados, diversas fontes.	Oesterreich e Teuteberg (2016), Khan e Turowski (2016), Kagermann <i>et al.</i> (2013)
Redes de comunicação	Deve existir uma infraestrutura de conectividade efetiva disponível que permita o funcionamento, acesso e compartilhamento dos dados por meio de uma rede de internet de qualidade, garantindo assim o fluxo de comunicação dos dados em tempo real e integração do processo.	Oesterreich e Teuteberg (2016), Khan e Turowski (2016), Kagermann <i>et al.</i> (2013)
Mudanças organizacionais e de processo	Novas formas de organização do trabalho serão impulsionadas pela produção com customização em massa. Necessidade de um ambiente colaborativo de trabalho e com forte atuação da gestão de conhecimento, para que esta estrutura de manufatura inteligente se estabeleça de forma plena. Os ambientes colaborativos podem ser construídos tanto fisicamente como virtualmente, por intermédio do uso de mídia social e computação móvel.	Oesterreich e Teuteberg (2016), Khan e Turowski (2016), Brettel <i>et al.</i> (2014), Kagermann <i>et al.</i> (2013)
Legislação / Regulamentação	Necessidade de desenvolvimento de legislação direcionadas a essas inovações tecnológicas. Deve-se dar atenção especial as questões de proteção de dados corporativos e de responsabilidade.	Oesterreich e Teuteberg (2016), Kagermann <i>et al.</i> (2013)
Tratamento de dados	O ambiente dos sistemas envolvidos na Indústria 4.0 gerarão um enorme volume de dados proveniente de diversas fontes, demandando uma grande capacidade de armazenamento, processamento e gerenciamento. Um fator agravante para a questão dos dados é a falta de padronização.	Khan e Turowski (2016)
Tecnologia	Nem todos os conceitos aplicáveis na Indústria 4.0 estão em iguais níveis de maturidade e disponíveis no mercado, alguns destes ainda se encontram em discussão e em estágio de protótipo. Muitas indústrias ainda utilizam em seu processo produtivo um nível de tecnologia inadequado.	Oesterreich e Teuteberg (2016), Khan e Turowski (2016)

Fonte: Elaborado pelos autores (2017)

II) Iniciar projetos pilotos

Com os objetivos estabelecidos, a segunda etapa consiste no desenvolvimento e execução de projetos pilotos. Nesta etapa, é recomendada a utilização de padrões de gerenciamento de projetos, como a estrutura proposta pelo guia PMBOK (2013), que ajudam aumentar as chances de sucesso da execução de uma atividade desta natureza, com vários fatores de risco.

O conhecimento sobre gerenciamento de projetos auxilia desde o planejamento das etapas e atividades, até o monitoramento e controle de todos os recursos e riscos envolvidos. Uma importante contribuição da sua aplicação, consiste na ideia de que ao final do projeto as lições aprendidas devem ser avaliadas, documentadas e divulgadas. Neste caso específico de projetos pilotos da Indústria 4.0 que envolvem diretamente inovações tecnológicas, o conhecimento gerado a partir de lições aprendidas não pode ser retido e nem perdido, é preciso divulgar e armazenar as informações.

O projeto piloto deve ser desenvolvido em uma parte do sistema de produção, no qual os resultados e/ou as dificuldades encontradas possam ser expandidos para outras partes deste sistema. Uma estrutura de arquitetura operacional baseada em funções, atributos e níveis, proposta por Lee *et al.* (2015), pode ser utilizada para apoiar a execução destes projetos.

Lee *et al.* (2015) estruturou a proposta de arquitetura 5C considerando basicamente cinco níveis de desenvolvimento dos sistemas operacionais da Indústria 4.0, os níveis são respectivamente: I) Nível de Conexão Inteligente, II) Conversão Dados para Informação, III) Nível Ciber, IV) Nível Cognitivo e V) Nível de Configuração.

O nível de conexão inteligente consiste na infraestrutura composta basicamente por uma rede de sensores, o nível conversão dados para informação possibilita a análise e estratificação dos dados coletados no ambiente de fábrica facilitando a obtenção de um histórico confiável, o nível ciber permite o acesso a informação dos dados coletados e agrupados, o nível cognitivo

envolve a realização de simulação e fornecimento de informações para a tomada de decisão em um ambiente colaborativo, e por fim, o nível de configuração permitir que o sistema se auto configure com base nas decisões tomadas anteriormente sem a intervenção humana. A Figura 1 ilustra esta arquitetura em questão.

Figura 1 – Arquitetura 5C


 Fonte: Lee *et al.* (2015)

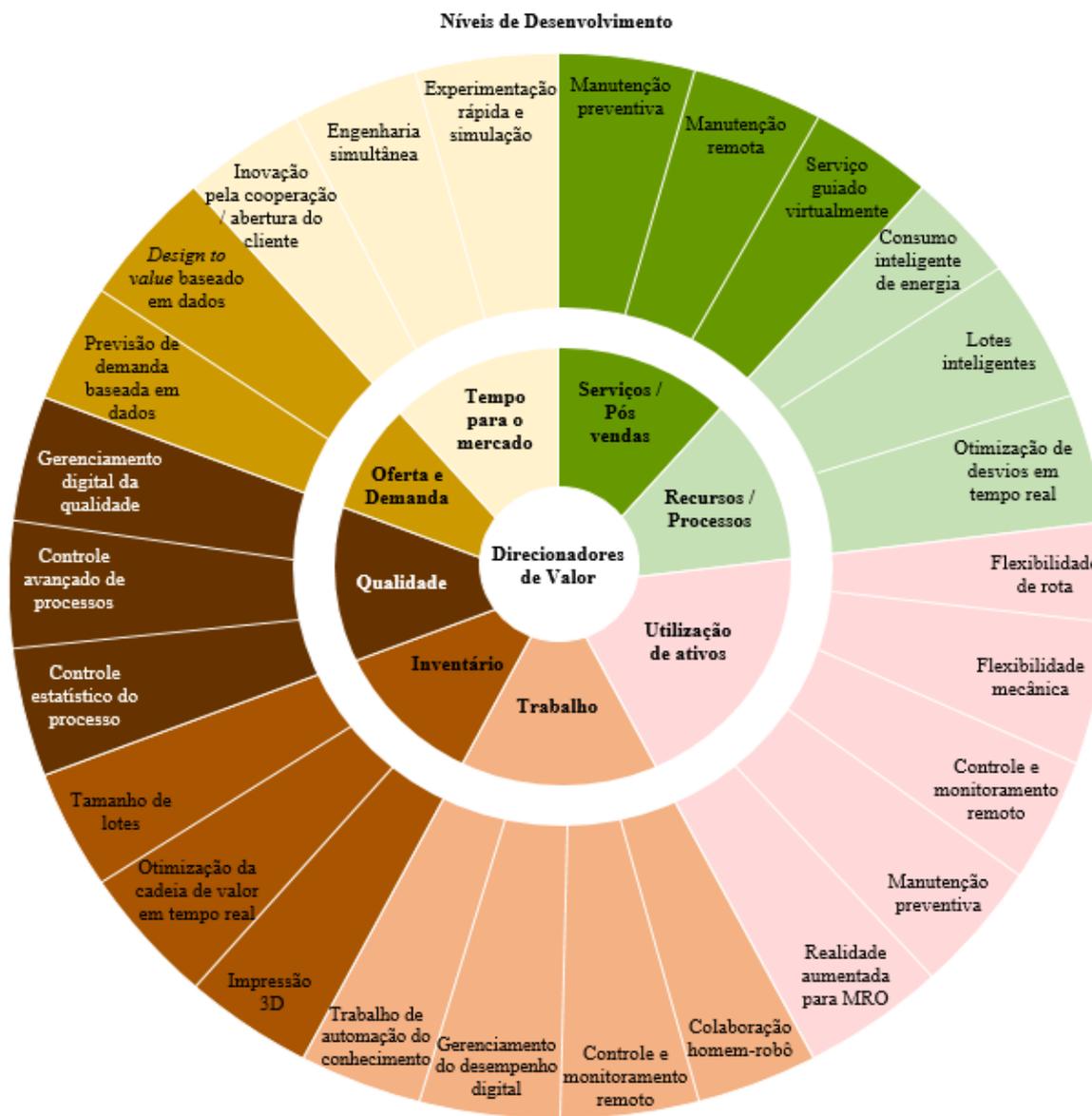
O projeto piloto pode ser desenvolvido em diferentes níveis considerando a arquitetura 5C, isso irá depender do grau de maturidade da empresa. A complexidade operacional aumenta conforme o nível evolui, e para que se obtenha um projeto com nível de configuração (IV), que é o mais elevado, é primordial o desenvolvimento de todos os níveis anteriores por meio da utilização das tecnologias, como Big Data, Internet das Coisas, Computação em Nuvem, Modelos de Simulação, entre outras.

Por fim, a realização de projetos pilotos podem contribuir de duas maneiras. Caso estes sejam bem-sucedidos, é possível já os introduzir dentro das empresas, não perdendo o investimento inicial realizado. No entanto, caso não tenham resultados satisfatórios, é necessário analisar os motivos do ocorrido e tirar aprendizados sobre a própria organização e desta nova tendência.

III) Definir as capacidades necessárias

Tendo como base os projetos pilotos não sucedidos, é fundamental analisar as capacidades necessárias a serem desenvolvidas. Nesta direção, é possível utilizar o compasso digital, desenvolvido pela McKinsey&Company (2015), o qual está demonstrado na Figura 2.

Figura 2 – Compasso digital



Fonte: Adaptado de McKinsey&Company (2015)

O compasso digital ajuda a empresa na decisão de qual capacidade deve ser melhorada conforme os seguintes valores: trabalho, estoques, qualidade, atendimento da demanda, tempo de lançamento, serviços/pós-venda, recursos/processos, utilização de ativos.

Assim que forem definidas e aprimoradas as necessidades das empresas para alcançar a meta original, estabelecida a etapa I, deve-se novamente executar projetos pilotos para ver os resultados deste melhoramento.

IV) Especializar-se em análise de dados

Para se adaptar neste novo ambiente da Indústria 4.0, é necessário organizar e analisar melhor os dados obtidos, visando tomar decisões de maneira mais efetiva e rápida. Nesta direção, medidas devem focar no desenvolvimento de competências para análise de informação.

A especialização em análise de dados envolve desde a estruturação de sistemas que possibilitem combinação de diferentes dados, até o treinamento da equipe da empresa para desenvolvimento de habilidades.

V) Aumentar a digitalização da empresa

Com o intuito de captar os benefícios da Indústria 4.0 é requerido muitas vezes tornar a empresa inteira digital, em outras palavras, evoluir para o nível de maturidade de "Avançado" digital, mostrado na Tabela 2. Para este caminho, novos objetivos devem ser estabelecidos, como na etapa I, e a partir destes realizar todas as etapas anteriores novamente.

Vale ressaltar que tornar a cultura da empresa digital é fundamental, já que existe a necessidade de adaptação neste novo ambiente da Indústria 4.0.

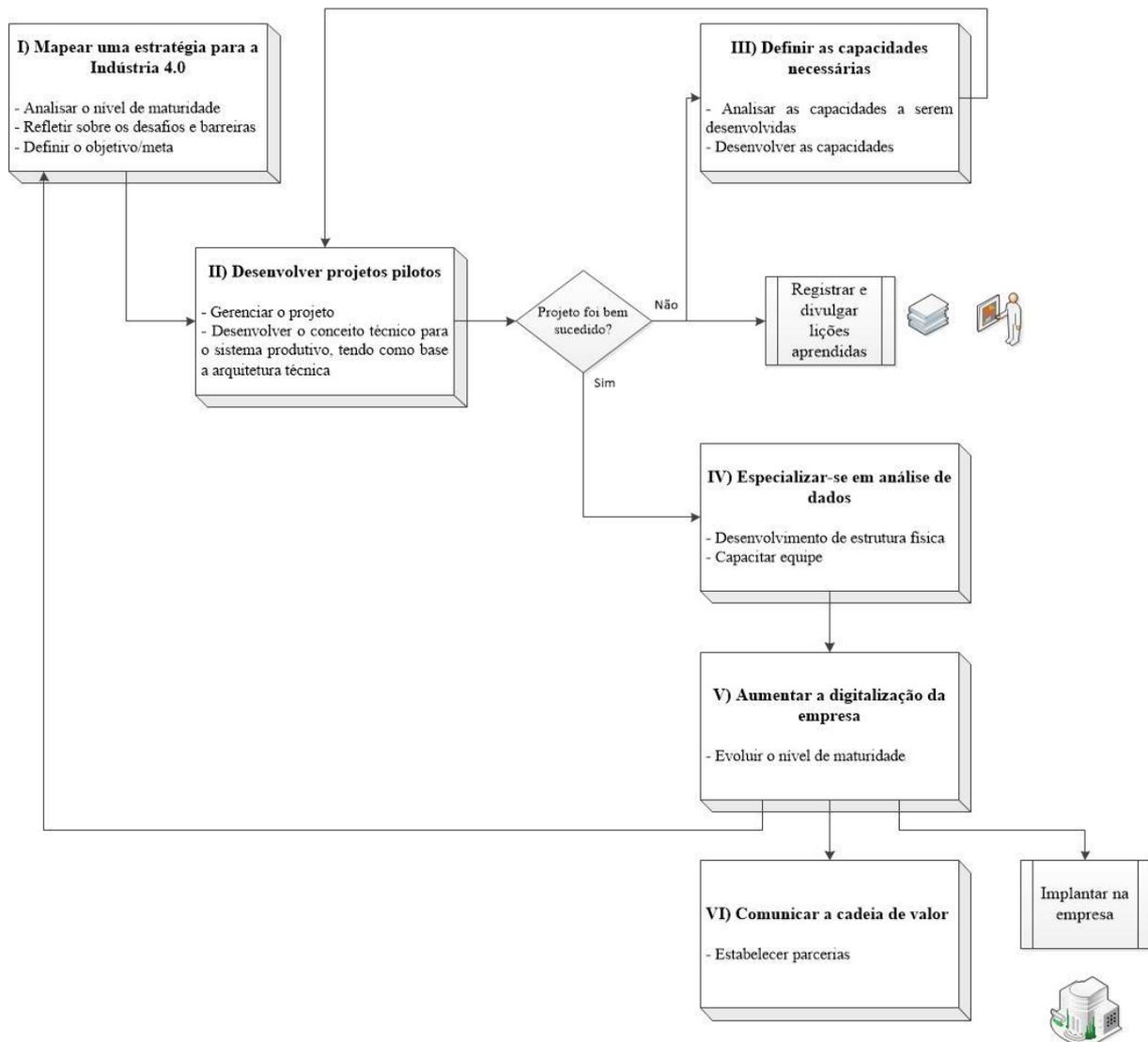
VI) Comunicar a cadeia de valor

Após o aprimoramento da digitalização da companhia, é necessário expandir este processo para toda cadeia de valor, em outras palavras, comunicar o processo desde a extração dos insumos até a distribuição para o cliente final.

Isto é possível por meio do estabelecimento de parcerias, visto que as empresas estejam dispostas a compartilhar dados e informações, como por exemplo nível de estoques, em situações em que a cooperação não é possível, pode-se pensar em alternativas como fusões/aquisições.

Diante do exposto, a Figura 3 representa uma visão geral do fluxo de relacionamento das etapas de I a VI descritas, para que assim o entendimento do contexto seja completo.

Figura 3 – Fluxo das etapas para implantação da Indústria 4.0



Fonte: Elaborado pelos autores (2017)

O fluxo representa basicamente a interação entre as atividades, de forma que a etapa I) Mapear uma estratégia para a Indústria 4.0, seja considerada o ponto de partida de todo o processo. Na sequência, a partir do resultado da realização dos projetos pilotos na etapa II, é possível definir o caminho para a implantação, caso a empresa não tenha obtido bons resultados, destina-se os esforços para a realização da etapa III, que consiste na análise da situação e desenvolvimento das respectivas capacidades demandadas, também resultando no retorno a etapa II para refazer os projetos pilotos.

Caso o projeto piloto tenha obtido sucesso, o caminho a partir da etapa II é direcionado para IV) Especialização em análise de dados e V) Aumento da digitalização da empresa. Com a melhoria de digitalização da empresa implantada, é recomendado comunicar toda a cadeia de valor, etapa VI, assim como voltar ao passo I, para dar continuidade aos estágios de desenvolvimento da Indústria 4.0 que foram traçados no modelo de maturidade.

5. Considerações finais

A estruturação e implantação do contexto da Indústria 4.0 está passando por seu processo de evolução e apresenta para as empresas a tendência de um novo formato de modelo de negócio. Basicamente, o ambiente da Indústria 4.0 possui um alto grau de desenvolvimento tecnológico, caracterizado principalmente pelo estabelecimento da comunicação entre dispositivos, possibilitando a troca, armazenamento e interpretação de dados em um sistema inteligente.

Então, objetivando esclarecer este cenário o presente estudo apresentou uma investigação dos conceitos centrais que envolvem a temática, e também estruturou uma proposta de implantação organizada em seis etapas, que leva em consideração os aspectos estratégicos e operacionais. Desta forma, pretende-se apoiar e incentivar a adoção das tecnologias e conceitos indicados pela literatura da Indústria 4.0.

Vale ressaltar que a proposta apresentada representa uma investigação inicial de procedimentos estratégicos de implantação e poder ser adaptada para contextos específicos dependendo da necessidade.

Por fim, as recomendações para trabalhos futuros consistem basicamente em: promover estudos científicos detalhados sobre cada etapa descrita, testar a estrutura proposta em um ambiente real e desenvolver um protótipo de projeto do ambiente da Indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA AUTO DATA. **Revolução industrial - Brasil: um degrau abaixo**, 2017. Disponível em: <<http://www.autodata.com.br/acervo/agencia>>. Acesso em 21 de abril de 2017.

ANDERL, R. Industrie 4.0 - Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production. **Anais do 19^o Seminário Internacional de Alta Tecnologia - Inovações Tecnológicas no Desenvolvimento do Produto**. Piracicaba: UNIMEP, 2014

BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M.; ROSENBERG, M. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37–44, 2014.

CAO, J.; ZHANG, S. **The Application and Design of Big Data in Operation and Maintenance of Industry 4.0**. 6th International Conference on Machinery, Materials, Environment, Biotechnology and Computer (MMEBC 2016), 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desafios para indústria 4.0 no Brasil**. Brasília. CNI, 2016.

Cyber-Physical Systems, 2012. Disponível em: <http://cyberphysicalsystems.org/>. Acesso em 13 de abril de 2017.

GEISSBAUER, Reinhard; VEDSØ, Jesper; SCHRAUF, Stefan. **A Strategist's Guide to Industry 4.0**, 2016. Disponível em: <https://www.strategy-business.com/article/A-Strategists-Guide-to-Industry-4.0?gko=7c4cf>. Acesso em 09 de abril de 2017.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. **Final report of the Industrie 4.0 Working Group**. 82 p., 2013.

KHAN, A.; TUROWSKI, K. **A Perspective on Industry 4.0 : From Challenges to Opportunities in Production Systems**. IoTBD 2016 - International Conference on Internet of Things and Big Data, 2016.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, v. 3, p. 18–23, 2015.

MCKINSEY & COMPANY. **Manufacturing's next act**, 2015. Disponível em: <http://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act>. Acesso em 15 de abril de 2017.

MIORANDI, D.; SICARI, S.; PELLEGRINI, F.; CHLAMTAC, I. Internet of things: Vision, applications and research challenges. **Ad Hoc Networks**, v. 10, n. 7, p. 1497–1516, 2012.

OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in Industry**, v. 83, p. 121–139, 2016.

PRICEWATERHOUSECOOPERS BRASIL LTDA. **Pesquisa Global sobre a Indústria 4.0: Relatório Brasil, 2016**. Disponível em: <<https://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/servicos/assets/consultoria-negocios/2016/pwc-industry-4-survey-16.pdf>>. Acesso em 13 de abril de 2017.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **UM GUIA DO CONHECIMENTO EM GERENCIAMENTO DE PROJETOS (GUIA PMBOK®)**. 5. ed. Pensilvânia: PMI, 2013. 567 p. ISBN 978-1-62825-007-7.