

2018

Exploratory factor analysis for assessing Industry 4.0: Evidence for the European Union

Isabel Castelo-Branco

Nova Information Management School (NOVA IMS), isabelcastelobranco123@gmail.com

Frederico Cruz-Jesus

Nova Information Management School (NOVA IMS), fjesus@novaims.unl.pt

Follow this and additional works at: <https://aisel.aisnet.org/capsi2018>

Recommended Citation

Castelo-Branco, Isabel and Cruz-Jesus, Frederico, "Exploratory factor analysis for assessing Industry 4.0: Evidence for the European Union" (2018). *2018 Proceedings*. 2.

<https://aisel.aisnet.org/capsi2018/2>

This material is brought to you by the Portugal (CAPSI) at AIS Electronic Library (AISeL). It has been accepted for inclusion in 2018 Proceedings by an authorized administrator of AIS Electronic Library (AISeL). For more information, please contact elibrary@aisnet.org.

Análise Factorial exploratória para a Indústria 4.0: Evidência para o contexto europeu

Exploratory factor analysis for assessing Industry 4.0: Evidence for the European Union

Isabel Castelo-Branco, Nova Information Management School (NOVA IMS), Portugal,
isabelcastelobranco123@gmail.com

Frederico Cruz-Jesus, Nova Information Management School (NOVA IMS), Portugal,
fjesus@novaims.unl.pt

Resumo

A transformação digital tem vindo a moldar em diferentes dimensões a forma como as empresas operam. O conceito de Indústria 4.0, que representa a adoção de técnicas e processos permitidos pela digitalização, computação em nuvem, internet das coisas e big data, como forma de melhorar a produtividade industrial é uma dessas dimensões. Não existindo uma definição estabelecida do termo, aferir o grau de adoção da Indústria 4.0 nos processos produtivos permanece um desafio, tanto mais que a recolha de informação estatística relativa ao setor industrial não está especificamente direcionada para as características deste conceito. Reconhecendo estas dificuldades, o presente estudo tenta medir a capacidade de adoção da Indústria 4.0 na União Europeia, usando dados do Eurostat. A informação obtida mostra diferenças significativas entre os países da UE quanto à possibilidade de existência da Indústria 4.0.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Big Data; Transformação Digital; Estratégia para o Mercado Único Digital; Setor Industrial

Abstract

Digital transformation has been shaping the way enterprises operate in several different dimensions. Industry 4.0 is one of these dimensions as it represents the adoption by the industrial companies of the techniques and processes allowed by digitization, cloud computing, internet of things and big data, to gain competitive advantages in the domestic and global markets. Measuring how the manufacturing sector is adopting Industry 4.0, is challenging, given that there is not a closed definition of the term and that the collection of information is not specifically directed to the Industry 4.0 concepts. Recognizing these difficulties, the present study attempts to measure the readiness for the adoption of Industry 4.0 across the European Union, using Eurostat data. The information obtained shows large disparities among EU countries in what concerns the possibility of existence of Industry 4.0.

Keywords: *Industry 4.0; Big Data; Digital Transformation; Digital Single Market Strategy; Industrial Sector*

1. INTRODUÇÃO

A transformação digital tem vindo a afetar modelos de negócio, processos produtivos e os processos de gestão empresarial. Os desenvolvimentos ocorridos nos últimos anos nas infraestruturas de tecnologias de informação e comunicação (TIC) e nas capacidades analíticas, possibilitaram uma corrente de inovação com reflexos em todos os níveis dos modelos de negócio e da organização corporativa. A capacidade das organizações dominarem estes elementos tornou-se um fator de vantagem competitiva em quase todos os setores económicos (Bleicher & Stanley, 2016; Grover & Kohli, 2013). No entanto, o âmbito da transformação digital no mundo empresarial é muito amplo e o grau em que ocorre é o resultado da conjugação de vários elementos: os recursos de TIC das empresas (Ashrafi & Mueller, 2015), o ambiente da indústria (Mithas, Tafti, & Mitchell, 2013) e as políticas públicas (GTAI, 2013).

Entre as várias dimensões da transformação digital, a atenção de decisores políticos, académicos e gestores tem-se direcionado para as possibilidades que surgem da aplicação da digitalização aos processos produtivos, um fenómeno correntemente designado por Indústria 4.0 (Smit, Kreutzer, Moeller, & Carlberg, 2016). O termo Indústria 4.0 tem vindo a ser amplamente utilizado para descrever o conceito da fábrica digital: processos de fabrico totalmente automatizados, eventualmente integrados com a cadeia de abastecimento e distribuição, onde a intervenção humana é reduzida ao mínimo indispensável (Hofmann & Rüsçh, 2017; Smit et al., 2016). No âmbito da Estratégia para o Mercado Único Digital (European Commission, 2015a) a Comissão Europeia (CE) tem trabalhado na identificação e recolha de dados que permitem a medição e caracterização da sociedade digital (European Commission, 2015b), incluindo dados relacionados com a digitalização dos processos produtivos, mas ainda não foram apresentados estudos que permitissem uma visão transversal do grau de desenvolvimento da Indústria 4.0 em toda a União Europeia (UE). Há, portanto, uma lacuna na literatura nessa área que o presente estudo tenta preencher, respondendo às seguintes questões:

Q1. É possível conhecer o grau de adoção da Indústria 4.0 na UE a partir dos dados do Eurostat?

Q2. Até que ponto existem, no contexto da indústria europeia, diferenças entre os países em termos de infraestrutura de TIC e capacidades analíticas consideradas necessárias para a existência da Indústria 4.0?

Na resposta a estas perguntas, o presente estudo está organizado da seguinte forma: a secção 2 fornece os antecedentes da Indústria 4.0, a sua definição e contexto, e apresenta uma revisão da literatura sobre a Indústria 4.0 e os seus componentes; a secção 3 discute a natureza e a justificação das variáveis usadas para medir o grau de implementação da Indústria 4.0; a secção 4 estabelece a metodologia e informações os resultados das análises; a secção 5 discute os resultados e as limitações do estudo e, por fim, a secção 6 apresenta as possíveis implicações e conclusões.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O termo Indústria 4.0 é um conceito que surgiu pela primeira vez em 2011 com o objetivo de caracterizar processos de fabrico altamente digitalizados onde a informação flui entre máquinas num ambiente controlado para que a intervenção humana seja reduzida ao mínimo (Qin et al., 2016). O conceito foi gerado e desenvolvido pelas comunidades industriais e académicas alemãs com o apoio do governo alemão, com a intenção de enquadrar e desenvolver as competências industriais do país potenciadas pela digitalização dos processos produtivos em vários setores industriais. Constitui referência neste tema o relatório da Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Kagerman, Wahlster, & Helbig, 2013) que introduziu o termo a partir do reconhecimento de que a inclusão dos sistemas ciber-físicos nos processos produtivos está a alterar o paradigma da produção, marcando o advento da quarta revolução industrial (Qin et al., 2016). A Indústria 4.0 é um resultado em construção da quarta revolução industrial, por analogia com outros períodos da história em que a introdução de alterações estruturais nos processos produtivos gerou inovações disruptivas e mudanças de paradigma com fortes impactos na produtividade e permitiu a criação de novos modelos de negócio. Neste contexto, a primeira revolução industrial foi marcada pela mecanização dos processos produtivos, a segunda pela introdução da produção em massa com base na divisão do trabalho e movida a eletricidade e a terceira pela automação de certos processos através da incorporação da eletrónica e da computação (Kagerman et al., 2013; Qin et al., 2016).

O termo Indústria 4.0 engloba os processos de fabrico autossuficientes possibilitados pela capacidade de máquinas e dispositivos comunicarem entre si através da interconectividade digital ao longo da cadeia de valor (Smit et al., 2016). Para além do seu significado original, no entanto, o termo “Indústria 4.0” incorpora um conceito mais amplo, o de uma Revolução Industrial em construção (Hermann, Pentek, & Otto, 2016): ainda que nem todos os desenvolvimentos tecnológicos permitidos pela digitalização dos processos de fabrico estejam disponíveis para uso generalizado, é já possível compreender antecipadamente algumas das possibilidades permitidas pela adoção das tecnologias que lhe estão associadas (Brettel, Friederichsen, Keller, & Rosenberg, 2014; OECD, 2017).

A literatura sobre a Indústria 4.0 é já extensa e diversificada. O tema tem oferecido um amplo campo de análise para universidades, consultores e órgãos públicos (Hermann et al., 2016; McKinsey Digital, 2016; PwC, 2016; Smit et al., 2016). As diferentes perspetivas dessas diversas entidades explicam a existência de um vasto número de estudos académicos que cobrem aspetos específicos de implementação, como o tratamento de dados (Santos et al., 2017) ou a implementação de sistemas físicos cibernéticos (Morgan & O’Donnell, 2015; Mosterman & Zander, 2016) ou processos específicos como logística (Hofmann & Rüscher, 2017), utilizando casos práticos e recolhendo a experiência prática de especialistas da comunidade industrial (Hermann et al., 2016; Moeuf, Pellerin, Lamouri, Tamayo-Giraldo, & Barbaray, 2017).

Apesar da diversidade de abordagens sobre o tema, uma definição consistente e claramente estabelecida sobre o que é a Indústria 4.0 é difícil de encontrar (Brettel et al., 2014; Hermann et al., 2016). O relatório de 2013 da Acatech (Kagerman et al., 2013) discute os determinantes, os resultados, os benefícios, as condições necessárias, mas não propõe uma definição fechada. Brettel et al. (2014) recuperam os temas lançados pelo relatório Acatech, nomeadamente Produção Individualizada, Integração Horizontal em Redes Colaborativas e Integração Digital Ponta a Ponta, cada tema abrangendo vários subtópicos sobre processos de produção, cadeia de abastecimento e distribuição, redes colaborativas e sistemas de engenharia e produção. Outros autores propõem definir os elementos que caracterizam a Indústria 4.0 a partir dos seus “componentes” ou facilitadores, como a Internet das coisas, big data ou sistemas ciber-físicos. Hermann et al. (2016) definiram alguns princípios de design, divididos em várias dimensões: assistência técnica (virtual e física), interconexão (colaboração, padrões e segurança), decisões descentralizadas e transparência da informação (análise de dados e fornecimento de informações). Smit et al. (2016) apresentam as características da Indústria 4.0 como os requisitos técnicos que suportam a “organização de processos de produção baseados em tecnologia e dispositivos que comunicam entre si autonomamente ao longo da cadeia de valor”: interoperabilidade, virtualização, descentralização, tempo-real, orientação de serviço e modularidade. Qin et al. (2016) propõem uma arquitetura para a implementação da Indústria 4.0 que implica cinco níveis, cada nível dependendo dos atributos ciber-físicos no local: nível de conexão (conexão de hardware), nível de conversão (descoberta de informação), nível cibernético (sistema automatizado), nível de cognição (manutenção preditiva) e nível de configuração (produção inteligente).

3. MEDIR A INDÚSTRIA 4.0

Tratando-se de um tema bastante recente, não existe ainda, no nosso melhor conhecimento, nenhuma análise quantitativa que permita compreender até que ponto a Indústria 4.0 está a ser adotada em vários países ou setores industriais. Pode haver duas razões para isso: a dificuldade em definir quais são as dimensões exatas que caracterizam o termo Indústria 4.0 e a falta de dados quantitativos sobre essas dimensões. De facto, é facilmente reconhecível que o ritmo de desenvolvimento e adoção de novas tecnologias e práticas relacionadas com a sua implementação não é necessariamente compatível com o ritmo de produção de estatísticas consistentes que, por sua vez, exigem pesquisas focadas em assuntos específicos e que coloquem as perguntas adequadas.

Alguns estudos têm apresentado revisões sistemáticas da literatura publicada, com base na procura de palavras ou expressões associadas ao conceito da Indústria 4.0 (Hermann et al., 2016; Moeuf et al., 2017; Oesterreich & Teuteberg, 2016). Análises de casos reais e entrevistas com especialistas foram também utilizados para obter várias perceções sobre questões práticas relacionadas a conceitos e implementação (Brettel et al., 2014; Hermann et al., 2016; Santos et al., 2017).

Estudos realizados periodicamente pela OCDE e pela CE investigam hábitos, práticas, restrições, expectativas e intenções relacionadas com o uso das TIC com o objetivo de recolher informações que permitam a caracterização do grau de adoção ao longo do tempo e entre países. O presente estudo utilizou dados da CE, mais concretamente do EUROSTAT. Procuraram-se as variáveis que melhor representariam os conceitos a que a literatura associa à Indústria 4.0 e que são recolhidas nos inquéritos sobre o uso de TIC e e-commerce nas empresas, bem como a análise de “big data”.

Interconexão ou interconectividade, definida como comunicação sem fios através de uma rede que inclui pessoas, máquinas e sensores ou outros dispositivos móveis finais, é um dos pré-requisitos da Indústria 4.0 (Hermann et al., 2016; Kagerman et al., 2013). Foi assim considerada a percentagem de empresas que têm *conexão móvel à Internet para usar aplicativos dedicados* que expressa o grau de interconectividade por meio de dispositivos portáteis (smartphones, tablets) conectados à Internet por meio de uma rede móvel especificamente aplicada ao software comercial e patrocinada pela empresa para o uso dos seus colaboradores (Eurostat, 2017b). Também permite a possibilidade de decisões descentralizadas (Hermann et al., 2016; Smit et al., 2016). A aplicação das funcionalidades associadas à IoT requer este tipo de interconectividade. A *velocidade máxima de download contratada da conexão de internet fixa mais rápida é de pelo menos 100 Mb / s* também foi incluída, pois indica a necessidade de lidar com grandes volumes de dados numa infraestrutura de alta velocidade, compatível com o uso intensivo de dados e operacionalidade da IoT.

Outro elemento da Indústria 4.0 presente na literatura é a interoperabilidade, i.e., a capacidade dos sistemas se conectarem e trabalharem de forma coordenada e autossuficiente. A interoperabilidade pode ser vista sob a perspetiva de sistemas ciber-físicos como máquinas ou linhas de montagem (Smit et al., 2016), ou numa perspetiva mais ampla de redes de produção em termos de integração vertical ou horizontal (Brettel et al., 2014). Nessa linha, a variável *Empresas que possuem software ERP (Enterprise Resource Planning) para partilhar informação entre diferentes áreas funcionais* foi incluída no estudo como uma medida da capacidade de as empresas partilharem informação internamente em formato eletrónico e construir processos integrados. Além disso, e de acordo com Hofmann & Rüsçh (2017) sobre as implicações da Indústria 4.0 para a logística, a variável *Empresas cujos processos são automaticamente conectados com os dos seus fornecedores e/ou clientes* refere-se à percentagem de empresas que partilham informações eletrónicas através da cadeia de abastecimento e distribuição que, por sua vez, expressa o grau de integração entre as unidades fabris e os seus fornecedores/distribuidores; este mesmo elemento foi medido pelo seu lado negativo: *Empresas que enviam apenas faturas em papel B2BG (Business to Business e Government)* indica uma total falta de presença da Indústria 4.0.

A quantidade de dados gerados pelos processos produtivos e de abastecimento digitalmente integrados, combinada com a necessidade de processar informação em tempo real, requer virtualização como forma de assegurar o processamento de dados e capacidades de armazenamento

(Brettel et al., 2014; Hermann et al., 2016; Moeuf et al., 2017; Smit et al., 2016). A virtualização terá de suportar processos complexos. Assim, a variável *Compram serviços de CC (Cloud Computing) avançados (aplicativos de contabilidade, CRM - Customer Relationship Management - software, poder de computação)* foi também considerada, pois representa a percentagem de empresas que apoiam pelo menos uma parte da sua atividade nos serviços de computação em nuvem mais sofisticados disponíveis, que podem incluir Infraestrutura como Serviço (IaaS – Infrastructure as a Service) ou Plataforma como Serviço (PaaS – Platform as a Service). Sob o mesmo raciocínio, o tema big data também foi incluído, na medida em que traduz a necessidade de transparência da informação (Hermann et al., 2016), necessária nos processos produtivos em que máquinas e dispositivos comunicam entre si (Santos et al., 2017). Desta forma, *Empresas que analisam big data de qualquer fonte de dados*, embora representando um conjunto potencialmente maior que os adotantes da Indústria 4.0 foi incluída como uma indicação da adoção de big data por cada país. O âmbito de utilização de big data foi posteriormente reduzido, considerando-se duas variáveis que deverão estar intimamente relacionadas com a Indústria 4.0: a percentagem de *Empresas que analisam big data a partir de dispositivos inteligentes ou sensores da empresa* e *Análise de big data a partir da geolocalização de dispositivos portáteis*.

O quadro seguinte resume as variáveis e o respetivo significado:

Tema	Variável	% de Empresas Industriais	Suporte
Interoperabilidade	MobInt	Conexão móvel à Internet para usar aplicativos dedicados	(Hermann et al., 2016; Kagerman et al., 2013)
	Speed	Velocidade máxima de download contratada da conexão de internet fixa mais rápida é de pelo menos 100 Mb/s	(Hermann et al., 2016; Smit et al., 2016)
	ERP	Empresas que possuem software ERP para partilhar informação entre diferentes áreas funcionais	(Brettel et al., 2014; Smit et al., 2016)
	IntBP	Empresas cujos processos são automaticamente conectados com os dos seus fornecedores e / ou clientes	(Brettel et al., 2014; Hofmann & Rüsçh, 2017)
	tInvS	Empresas que enviam apenas faturas em papel B2BG (Business to Business and Government)	(Brettel et al., 2014; Hofmann & Rüsçh, 2017)
Virtualização	AdvCloud	Compram serviços de CC avançados (aplicativos de contabilidade, software CRM, poder de computação)	(Brettel et al., 2014; Hofmann & Rüsçh, 2017; Moeuf et al., 2017; Smit et al., 2016)
Transparência de Informação	BD_Anysrc	Empresas que analisam Big Data de qualquer fonte de dados	(Hermann et al., 2016; Santos et al., 2017)
	BD_Sensors	Empresas que analisam Big Data a partir de dispositivos inteligentes ou sensores da empresa	(Hermann et al., 2016; Santos et al., 2017)
	BD_Geo	Análise de Big Data a partir da geolocalização de dispositivos portáteis	(Hermann et al., 2016; Santos et al., 2017)

Tabela 1 - Descrição das variáveis

A escolha final das variáveis reflete, assim, o resultado de um julgamento apoiado nos conceitos da literatura que caracterizam a Indústria 4.0.

4. METODOLOGIA

4.1. Dados

Os dados recolhidos da base de dados do Eurostat são o resultado das respostas ao questionário sobre utilização das TIC e comércio eletrónico nas empresas (Eurostat, 2017a), e referem-se apenas a empresas do setor industrial, de acordo com a classificação estatística das atividades económicas na Comunidade Europeia (NACE, Rev.2) com 10 ou mais trabalhadores. A medida unitária corresponde à percentagem dessas empresas. Todas as variáveis utilizadas dizem respeito a 2016, excepto (*ERP*) e (*IntBP*), que se referem a 2015. Para se tratarem valores omissos recorreu-se a uma análise de clusters hierárquica, encontrando o País que se encontra mais próximo daquele com o valor omissos. Este procedimento foi realizado para uma variável na Polónia, Croácia e Alemanha.: Os países para os quais faltavam dados em duas ou mais variáveis foram eliminados da análise (Bélgica, Irlanda, Grécia, Chipre, Letónia e Áustria). Os dados são apresentados na Tabela 2:

	MobInt	Speed	ERP	IntBP	tInvS	Adv Cloud	BD_ Anysrc	BD_ Smart	BD_ Geo
Bulgária	12,00	8,00	26,00	16,00	41,00	3,00	6,00	3,00	3,00
Rep. Checa	39,00	8,00	35,00	19,00	3,00	6,00	7,00	4,00	3,00
Dinamarca	56,00	28,00	52,00	26,00	2,00	19,00	7,00	4,00	2,00
Alemanha	32,00	9,00	53,00	28,00	34,00	9,00	5,00	3,00	2,00
Estónia	26,00	12,00	20,00	14,00	3,00	13,00	8,00	5,00	3,00
Espanha	45,00	15,00	43,00	17,00	20,00	7,00	5,00	2,00	2,00
França	31,00	6,00	48,00	14,00	26,00	7,00	7,00	3,00	3,00
Croácia	38,00	4,00	53,00	24,00	38,00	9,00	7,00	3,00	1,00
Itália	22,00	4,00	45,00	13,00	13,00	5,00	7,00	3,00	2,00
Lituânia	23,00	19,00	38,00	26,00	19,00	8,00	11,00	6,00	7,00
Luxemburgo	35,00	25,00	47,00	19,00	22,00	9,00	12,00	6,00	3,00
Hungria	16,00	8,00	20,00	10,00	65,00	4,00	5,00	2,00	3,00
Malta	28,00	6,00	33,00	17,00	23,00	7,00	15,00	8,00	3,00
Holanda	44,00	18,00	58,00	20,00	9,00	15,00	15,00	10,00	4,00
Polónia	25,00	9,00	25,00	17,00	49,00	3,00	5,00	2,00	3,00
Portugal	30,00	19,00	38,00	15,00	32,00	6,00	10,00	4,00	4,00
Roménia	13,00	10,00	19,00	8,00	36,00	4,00	9,00	3,00	7,00
Eslovénia	24,00	14,00	39,00	11,00	33,00	10,00	9,00	6,00	2,00
Eslováquia	27,00	7,00	30,00	23,00	31,00	8,00	9,00	5,00	4,00
Finlândia	53,00	21,00	60,00	25,00	4,00	29,00	13,00	9,00	4,00
Suécia	43,00	27,00	60,00	12,00	10,00	18,00	7,00	4,00	2,00
Reino Unido	25,00	8,00	23,00	13,00	15,00	13,00	12,00	5,00	4,00

Tabela 2 - Dados por país

A grande disparidade nos dados não constituiu uma surpresa: na Bulgária, apenas 12% das empresas industriais têm acesso móvel à Internet para fins comerciais, enquanto na Dinamarca este valor é de 56%. Em mais de metade dos países, menos de 10% das empresas industriais têm uma velocidade de download contratada superior a 100Mb, mas na Dinamarca, na Suécia, na Finlândia e no Luxemburgo este valor excede os 20%. A dimensão dos dados, em termos de países e variáveis, é relativamente elevada para serem analisados usando estatísticas descritivas, uni- ou bivariadas. Assim, o uso de técnicas multivariadas revela-se apropriado.

4.2. Análise Factorial

A metodologia utilizada para medir a presença da Indústria 4.0 foi a análise fatorial que procura identificar relações entre variáveis, através das correlações entre elas que, a existirem, permitem o

reconhecimento de padrões entre elas. A qualidade da informação que pode ser retirada da análise fatorial dependerá da estrutura de correlação existente entre o conjunto de dados em análise.

Seguindo esta metodologia, no primeiro passo, foram calculadas correlações para todos os dois pares de variáveis, os resultados apresentados na Tabela 3:

	MobInt	Speed	ERP	IntBP	tInvS	Adv Cloud	BD_ Anysrc	BD_ Smart	BD_ Geo
MobInt	1,00	0,59	0,77	0,54	-0,63	0,74	0,16	0,34	-0,35
Speed		1,00	0,48	0,22	-0,44	0,61	0,26	0,35	0,09
ERP			1,00	0,51	-0,44	0,59	0,15	0,32	-0,37
IntBP				1,00	-0,26	0,37	0,11	0,27	-0,06
TInvS					1,00	-0,64	-0,39	-0,49	0,01
AdvCloud						1,00	0,40	0,59	-0,08
BD_Anysrc							1,00	0,91	0,43
BD_Sensors								1,00	0,27
BD_Geo									1,00

Tabela 3 – Correlações

De entre as seis primeiras variáveis (Mobint, Velocidade, ERP, intBP tlnvS e Advcloud), cada uma apresenta pelo menos uma correlação de pelo menos 0,51 com outra, um valor não muito alto, mas admissível para indicar um poder explicativo comum. Como é de se esperar, há uma correlação negativa entre a variável tlnvS e todas as outras. MobInt mostra o nível mais elevado de correlação com as variáveis deste conjunto (0,59), não havendo entre estas níveis de correlação acima de 0,8, o que sugere alguma independência. Quanto às variáveis relacionadas com big data, estas mostram uma baixa correlação com seis primeiras: Adv_Cloud tem uma correlação de 0,59 com BD_Smart, mas as correlações entre as variáveis big data e as restantes são menores ou iguais que 0,4. Há uma correlação elevada (0,91) entre BD_AnySrc e BD_Smart, sugerindo que os dispositivos inteligentes são uma fonte importante de informações para análise de big data. A correlação é menor (0,43) entre BD_AnySrc e BD_Geo. Além disso, a correlação entre BD_Smart e BD_Geo é baixa (0,27).

Depois da análise da matriz de correlações, uma análise fatorial em componentes principais foi aplicada. Os métodos de scree plot e de Kaiser (Peres-Neto, Jackson, & Somers, 2005) apontaram para dois fatores. A aplicação do teste de Kayser-Mayer-Olkin para adequação da amostra revelou um valor de 0,70, um valor considerado adequado.

Finalmente, considerando a contribuição de cada variável para cada factor, duas dimensões foram propostas: a primeira foi denominada **Preparação para a Indústria 4.0** e refere-se à combinação de interconectividade, interoperabilidade e virtualização que deve compor a infraestrutura da Indústria 4.0; já que nenhuma das variáveis foi recolhida com o objetivo específico de medir a Indústria 4.0, é a sua combinação e ocorrência simultânea que indica a possibilidade da presença,

nível de preparação ou capacidade de desenvolvimento da Indústria 4.0. A segunda dimensão foi denominada **Big Data** e expressa a capacidade de processar os dados gerados pela infraestrutura da Indústria 4.0.

Variável	Preparação para a Indústria 4.0	Big Data
MobInt	0.95	-0.04
Speed	0.87	-0.10
ERP	0.81	0.33
IntBP	0.64	0.26
TInvS	0.60	0.00
AdvCloud	-0.67	-0.35
BD_Anysrc	0.21	0.91
BD_Sensors	0.43	0.82
BD_Geo	-0.37	0.72
Variância explicada	3.89	2.32
Variância explicada (%)	43%	26%
Variância Total Explicada (%)	43%	69%

Tabela 4 – Fatores

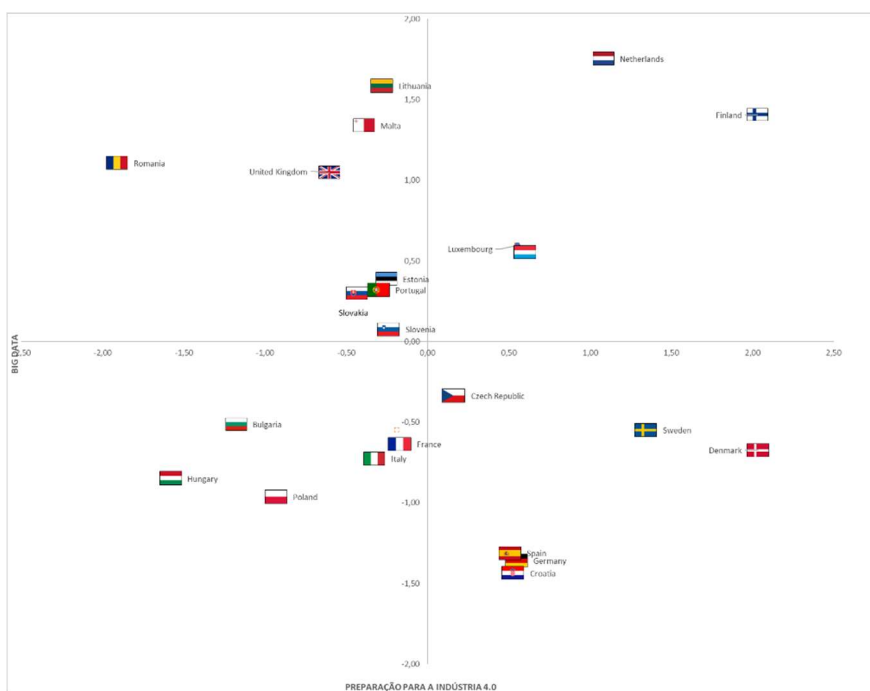


Figura 1 - Dispersão das dimensões

As duas dimensões combinadas explicam 69% da variância, um valor bastante elevado no contexto desta análise.

Os valores dos fatores para cada país são apresentados na Figura 1. O eixo horizontal representa a **Preparação para a Indústria 4.0** e o eixo vertical representa o factor **Big Data**. Cada eixo no gráfico representa a respetiva média do factor (0).

5. DISCUSSÃO

5.1. Resultados

As duas dimensões que parecem explicar a preponderância da Indústria 4.0, apontam para dois elementos básicos associados à forma como a digitalização afeta processos produtivos: **Preparação para a Indústria 4.0** e **Big Data**. A primeira dimensão relaciona-se essencialmente com a infraestrutura e a capacidade dessa infraestrutura para produzir dados que podem transformar-se em informação valiosa. No paradigma digital, a noção de infraestrutura ultrapassa os conceitos clássicos de hardware e cabos, englobando também as tecnologias de informação, comunicação e conectividade que estão a mudar a forma como as empresas desenvolvem os seus modelos de negócio (Bharadwaj, El Sawy, Pavlou, & Venkatraman, 2013). A segunda dimensão, **Big Data**, refere-se à capacidade de processar as informações geradas pela infraestrutura, o que diz respeito ao tópico da transparência da informação que completa a caracterização da Indústria 4.0. A capacidade de extrair os dados e interpretar a informação gerada pelos processos produtivos e/ou de abastecimento e distribuição pode ter um grande valor acrescentado, pois aumenta o poder preditivo e facilita a gestão de erros (Santos et al., 2017).

As informações obtidas fornecem, portanto, uma resposta parcial à primeira pergunta inicial: " Q1. É possível conhecer o grau de adoção da Indústria 4.0 em todos os países da UE a partir dos dados publicados pelo Eurostat?" Um valor elevado de **Preparação para a Indústria 4.0** aponta para a existência de uma infraestrutura, enquanto combinação da rede de comunicação (dada pelo acesso móvel à internet e pela velocidade de acesso) e das plataformas e máquinas conectadas através dessa rede (a existência de ERP, computação em nuvem avançada e conexão do processo de cadeia de abastecimento e distribuição). Um valor elevado de **Big Data** aponta para a existência dos recursos analíticos necessários. É a presença simultânea desses elementos que permite a possibilidade de interconectividade, de interoperabilidade e de virtualização e transparência da informação, todos elementos que devem estar presentes na Indústria 4.0. Um alto nível de ambas as dimensões não indica a existência da Indústria 4.0, mas deve pelo menos apontar para sua possibilidade.

As duas dimensões que surgiram da análise fatorial parecem assim apontar para a construção teórica da Indústria 4.0 como uma combinação de redes e plataformas que podem sustentar processos de produção e cadeia de suprimentos e a capacidade de processar os dados produzidos por esses dispositivos para fazer com que processos mais eficientes. As características do sistema de interconexão, de interoperabilidade e de virtualização permitem a geração e armazenamento de

grandes quantidades de dados granulares produzidos em diversas etapas dos processos e através de diversos dispositivos. O tratamento desses dados com técnicas de big data, transforma-os em informação valiosa. A infraestrutura e a capacidade de lidar com as informações que esta produz não podem ser consideradas separadamente, pois é a possibilidade da sua convergência que produz todos os benefícios associados à digitalização dos processos (Agarwal & Brem, 2015).

No que respeita à segunda questão, “Q2. Até que ponto existem, no contexto da indústria europeia, diferenças entre os países em termos de infraestrutura de TIC e capacidades analíticas consideradas necessárias para a existência da Indústria 4.0?” é visível a existência de uma grande disparidade de resultados entre os países, o que não deverá surpreender. Não só se trata de uma matéria recente relativamente à qual governos e empresas estão em processo de adaptação, como se trata de uma área em rápido desenvolvimento. Em termos gerais, os países escandinavos mostram um alto nível de adoção tanto em **Preparação para a Indústria 4.0** como em **Big Data**, mesmo se este nível de adoção não é homogêneo entre eles: a Finlândia é o líder e a Dinamarca e a Suécia, apresentam valores relativamente elevados em ambas as dimensões. A Holanda e o Luxemburgo são os dois países, juntamente com a Finlândia, onde a **Preparação para a Indústria 4.0** e **Big Data** são superiores à média. De fato, estudos anteriores mostraram que, ao nível da UE, estes países têm estado na linha de frente na redução do fosso digital (Cruz-Jesus, Oliveira, & Bacao, 2012; Vicente & López, 2011) o que deve indicar uma forte propensão, também do setor empresarial, para adotar soluções orientadas para maior digitalização que, por sua vez, é condição necessária para a existência da Indústria 4.0. Quanto aos restantes países, o significado muito amplo do tema divisão digital, conjugado com as especificidades da Indústria 4.0, não permite qualquer tipo de analogia. No caso da Alemanha, país de origem do conceito, os dados sugerem que novos desenvolvimentos são necessários em termos de análise de **Big Data** pelo setor industrial para alcançar a média da UE nessa dimensão. No entanto, a indústria alemã parece estar a adaptar-se no que diz respeito à infraestrutura ou **Preparação para a Indústria 4.0**, uma vez que está acima da média neste indicador. Este resultado é consistente com dados recentes da OCDE (2017). Surpreendentemente, a França e a Itália, duas das maiores economias da UE, apresentam valores inferiores à média em ambas as dimensões. E o Reino Unido, embora bem colocado em termos de **Big Data**, está consideravelmente abaixo da média no que diz respeito a **Preparação para a Indústria 4.0**.

Várias explicações poderão ser adiantadas para as disparidades entre as maiores economias da UE. A estrutura do setor industrial de cada país pode ser uma fonte de diferenças, já que os conceitos da Indústria 4.0 parecem ser mais bem-adaptados a alguns tipos de processos de produção do que outros. No entanto, vários outros aspetos podem ser considerados, tais como barreiras à interoperabilidade e aos padrões de TIC, falta de especialistas com as competências necessárias e políticas públicas que poderiam ser mais eficientes na difusão da informação correta - especialmente entre as PMEs - e fornecer uma alocação mais eficaz de recursos. Essas possíveis explicações podem

indicar por que a Alemanha, uma grande economia com muito enfoque em processos industriais diversificados e com um forte setor de PMEs, considerou importante a criação de uma consciência nacional sobre a necessidade de desenvolver a Indústria 4.0 para manter vantagens competitivas como país.

5.2. Limitações

Reconhecem-se várias limitações que podem influenciar ou distorcer as conclusões da análise anterior. Em primeiro lugar, as variáveis não foram recolhidas com o objetivo específico de analisar a adoção da Indústria 4.0. A informação que o Eurostat procura é mais ampla, referindo-se ao estado da utilização das TIC e ao nível de digitalização do setor empresarial dentro de cada país. A informação é coligida de todos os tipos de empresas, não apenas das industriais, o que significa, do ponto de vista da Indústria 4.0, um peso demasiado elevado da relevância do comércio eletrónico e a falta de cobertura da existência de elementos ciber-físicos, por exemplo. Além disso, o fato de o âmbito do questionário ter sido alargado recentemente pode significar que as respostas ainda não estão estabilizadas, já que as empresas e, eventualmente, os institutos nacionais de estatística podem ter dificuldades em interpretar as questões. Algumas das variáveis escolhidas têm um significado mais amplo do que o conceito de Indústria 4.0 ao qual foram associadas: *MobInt* refere-se a empresas que fornecem aos seus colaboradores dispositivos portáteis para uso relacionado com o trabalho, o que inclui e-mail e acesso geral à Internet, mesmo que também inclua o acesso a aplicativos específicos da empresa; no caso de *ERP* pode acontecer que algumas empresas trabalhem com módulos projetados para áreas funcionais específicas que não incluam o processo de fabrico; finalmente, *BD_Anysrc* admite a possibilidade de trabalhar big data a partir de outras fontes que não os processos produtivos ou a cadeia de abastecimento e distribuição. Apesar de todas as variáveis se referirem a 2016, duas delas referem-se a 2015. Por fim, faltam dados para alguns países, o que impede uma comparação completa da UE.

6. IMPLICAÇÕES E CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo medir o grau de adoção da Indústria 4.0 nos países da UE, utilizando o extenso conjunto de dados divulgados pelo Eurostat sobre o uso de TIC e a digitalização do setor empresarial. A medição desse conceito é difícil, pois não há uma definição reconhecida de Indústria 4.0, por um lado, e os dados disponíveis não foram recolhidos com o objetivo específico de a medir, por outro. Ainda assim, há, contudo, evidências suficientes para formar um julgamento sobre a capacidade ou preparação dos países para adotar a Indústria 4.0. As evidências sugerem que há uma grande dispersão entre os países no que diz respeito à presença das condições necessárias para essa preparação, mas também mostra que os países que estiveram à frente na redução do fosso digital tendem a ser também os mais avançados na propensão para a adoção da Indústria 4.0, uma

conclusão que dificilmente é uma surpresa. As razões que determinam as diferenças entre os países na capacidade de se adaptar à Indústria 4.0 requerem pesquisas adicionais. No entanto, futuramente, o Eurostat poderá considerar a possibilidade de tornar seu questionário mais específico sobre a digitalização do setor industrial, como forma de obter informações que permitam compreender a evolução e os determinantes do fenômeno. Esta informação pode ser útil para conceber as políticas e estratégias de investimento que contribuirão para o aumento da competitividade no setor da indústria transformadora dentro da UE e que ajudam a criar as condições para uma melhor integração das PME no ciclo de digitalização e inovação.

REFERÊNCIAS

- Agarwal, N., & Brem, A. (2015). Strategic business transformation through technology convergence: implications from General Electric's industrial internet initiative. *International Journal of Technology Management*, 67(2/3/4), 196–214. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2015.068224>
- Ashrafi, R., & Mueller, J. (2015). Delineating IT resources and capabilities to obtain competitive advantage and improve firm performance. *Information Systems Management*, 32(1), 15–38. <https://doi.org/10.1080/10580530.2015.983016>
- Bharadwaj, A., El Sawy, O. a., Pavlou, P. a., & Venkatraman, N. (2013). Digital business strategy: toward a next generation of insights. *MIS Quarterly*, 37(2), 471–482. <https://doi.org/10.1.1.216.1018>
- Bleicher, J., & Stanley, H. (2016). Digitization as a catalyst for business model innovation a three-step approach to facilitating economic success. *Journal of Business Management*, 8(12), 62–71.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How virtualization , decentralization and network building change the manufacturing landscape : *International Journal of Information and Communication Engineering*, 8(1), 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.213>
- Cruz-Jesus, F., Oliveira, T., & Bacao, F. (2012). Digital divide across the European Union. *Information and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.im.2012.09.003>
- European Commission. (2015a). A digital single market strategy for Europe. *COM(2015) 192 Final*, 20. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- European Commission. (2015b). *Monitoring the digital economy & society 2016-2021*. <https://doi.org/10.12968/jowc.2015.24.Sup5.S4>
- Eurostat. (2017a). Community survey on ICT usage and e-commerce in enterprises, 14–19.
- Eurostat. (2017b). Methodological manual for statistics on the information society ICT usage and e-commerce in enterprises survey year 2017, version 1.0, (December 2016), 1–84. Retrieved from <https://circabc.europa.eu/w/browse/c9df3412-21d8-4ef6-9312-fd68a9ff0c9e>
- Grover, V., & Kohli, R. (2013). Revealing your hand: Caveats in implementing digital business strategy. *MIS Quarterly*, 37(2), 655–663.
- GTAI. (2013). *Industrie 4.0 smart manufacturing for the Future*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36917-9>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2016–March*, 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Hofmann, E., & Rüsch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- Kagerman, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Securing the future of German manufacturing industry Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. *acatech*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1205.8966>
- Mckinsey Digital. (2016). Industry 4.0 after the initial hype. *McKinsey & Company*.
- Mithas, S., Tafti, A., & Mitchell, W. (2013). How a firm's competitive environment and digital strategy posture influence digital business strategy. *MIS Quarterly*, 37(2), 511–536. <https://doi.org/10.1257/jel.50.4.1051>

- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2017). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 7543(October), 1–19. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647>
- Morgan, J., & O'Donnell, G. E. (2015). The cyber physical implementation of cloud manufacturing monitoring systems. *Procedia CIRP*, 33, 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.06.007>
- Mosterman, P. J., & Zander, J. (2016). Industry 4.0 as a cyber-physical system study. *Software and Systems Modeling*, 15(1), 17–29. <https://doi.org/10.1007/s10270-015-0493-x>
- OECD. (2017). *The Next Production Revolution*.
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). 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*, 83, 121–139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Peres-Neto, P. R., Jackson, D. A., & Somers, K. M. (2005). How many principal components? stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. *Computational Statistics and Data Analysis*, 49(4), 974–997. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2004.06.015>
- PwC. (2016). *Industry 4.0: building the digital enterprise*. Retrieved from www.pwc.com/industry40
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for Industry 4.0 and beyond. In *Procedia CIRP*. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.005>
- Santos, M. Y., Oliveira, J., Andrade, C., Lima, F. V., Costa, E., Costa, C., ... Galvão, J. (2017). A Big Data system supporting Bosch Braga Industry 4 . 0 strategy. *International Journal of Information Management*, 37(6), 750–760. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.07.012>
- Smit, J., Kreutzer, S., Moeller, C., & Carlberg, M. (2016). *Industry 4.0 a study for the European Parliament*. Retrieved from <http://www.europarl.europa.eu/studies>
- Vicente, M. R., & López, A. J. (2011). Assessing the regional digital divide across the European Union-27. *Telecommunications Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2010.12.013>