





# Robótica e trabalho O futuro hoje



# Robótica e trabalho O futuro hoje

António Brandão Moniz

*{ glaciara }* fundação  
LUSO-AMERICANA  
PARA O DESENVOLVIMENTO



# Índice

<b>1. Introdução</b>	11
<b>2. A relação tecnologia e emprego: o contexto português</b>	17
<b>3. A automação como processo de racionalização</b>	37
3.1. Reflexão teórica sobre a automação	38
3.2. As tendências de evolução da automação nas economias modernas	43
3.3. A relação entre automação e produtividade	47
3.4. Tendências recentes e potenciais impactos no emprego	65
3.4.1. Os princípios do determinismo tecnológico	66
3.4.2. A crítica ao determinismo e as opções organizacionais	71
3.4.3. Análise de estudos recentes de referência	74
<b>4. Robótica como tecnologia de referência</b>	97
4.1. Elementos para uma definição de robótica	97
4.2. A emergência da robótica como tecnologia avançada no desenvolvimento da automação	103
4.3. As aplicações da robótica: da indústria à “robótica em todo o lado”	108
4.3.1. Setores de aplicação	118
4.3.1.1. Indústria automóvel	118
4.3.1.2. Indústria eletrónica	122
4.3.1.3. Indústria alimentar	124
4.3.1.4. Novos domínios de atividade produtiva: minas, espaço, oceanografia, vestuário	128

4.3.1.5. Novos setores de aplicação na atividade de lazer: sexo, desporto, turismo	132
4.3.2. Funções de aplicação	134
4.3.2.1. Cirurgia robótica	134
4.3.2.2. Os robôs nos cuidados médicos	137
4.3.2.3. Robótica como tecnologia assistiva	139
4.3.2.4. Robôs na busca e salvamento	142
4.3.2.5. Logística e mobilidade	145
4.4. A relação indivíduo-robô na esfera do trabalho	149
4.4.1. Características da relação indivíduo-robô em ambiente de trabalho	150
4.4.2. O que são ambientes complexos de trabalho?	154
4.4.3. A intuitividade como objetivo da relação da robótica com os humanos	160
4.4.4. Contribui a robótica para a melhoria das condições de trabalho?	164
<b>5. A emergência das questões éticas, legais e sociais (ELS) da tecnologia</b>	173
5.1. Especificidade da robótica?	175
5.2. Tópicos relacionados ao ELS que requerem mais investigação	176
5.2.1. Problemas éticos	176
5.2.2. Questões societárias	177
5.2.3. Questões legais	179
5.2.4. Problemas comuns (ELS)	181
<b>6. O desenvolvimento da robótica em Portugal</b>	185
6.1. Exemplos de atividades pioneiras na robótica em Portugal	186
6.2. A Agenda nacional sobre “Trabalho, Robotização e Qualificação do Emprego em Portugal”	192
6.3. Campos de investigação em robótica em Portugal	195
6.4. As aplicações industriais	196
6.5. Tendências de desenvolvimento da robótica em Portugal	208

<b>7. Algumas conclusões: limites e perspetivas de novos desenvolvimentos</b>	215
7.1. Limites da investigação em robótica e os seus novos desafios	216
7.2. Potencialidades de desenvolvimento da robótica	221
7.3. Irão os robôs substituir os humanos nos postos de trabalho?	226
7.4. Perspetivas de novas aplicações em Portugal	231
 Bibliografia	 235



## 1. Introdução

Esta edição deve-se ao convite da Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento (FLAD). Infelizmente, não é muito comum em Portugal escreverem-se livros sobre temas atuais e apoiados por entidades ou editoras. Habitualmente os apoios são dados às obras literárias com autores já reconhecidos. Nas obras de carácter científico isso já não acontece. Por esse motivo, esta iniciativa da FLAD vem ocupar um espaço onde poucas instituições de grande mérito e qualidade se revelam.

A proposta do tema relaciona-se com o interesse público no debate da relação crescente entre tecnologia e trabalho. Começam a surgir debates na televisão<sup>1</sup>, e revistas e semanários solicitam entrevistas, publicam artigos desenvolvidos, promovem debates sobre este mesmo tema.

No entanto, não podemos dizer que apenas nos anos mais recentes esta discussão emergiu nos órgãos de comunicação social. Efetivamente, o debate acerca da relação entre emprego e tecnologia foi muito importante na comunidade científica já nos anos de 1970, e transpareceu um interesse público nas décadas seguintes. Neste período assistiram-se a publicações e debates acerca da importância da introdução de sistemas automatizados (sistemas de controlo numérico e robotizados), do impacto na

---

<sup>1</sup> Por exemplo, o programa “Como será o trabalho no futuro” da série *Fronteiras XXI* na RTP3, 15 de março de 2017 (<http://www.rtp.pt/play/p3189/e278689/fronteiras-xxi>).

desqualificação (estudo de Braverman sobre o trabalho no capitalismo monopolista), da sociedade pós-industrial (Touraine) ou da emergência dos sistemas flexíveis de produção que permitiam novas opções organizacionais (Kern e Schumann, ou Piore e Sabel). No entanto, com o novo milénio, as doutrinas sobre as potencialidades e desafios da competitividade secundarizaram essa controvérsia.

Mais recentemente, e de certo modo podemos localizar no texto de Frey e Osborne de 2013, começou uma nova vaga de discussão acerca deste mesmo tema. Enquanto que nos últimos 30 anos do século passado o debate desenvolveu-se em circunstâncias de taxas médias de desemprego que não ultrapassavam os 10%, a partir de 2000 as taxas de desemprego começaram a subir constantemente. E neste contexto o problema não seria a tecnologia que gerava desemprego, porque nenhuma evidência empírica o indicava. Seriam então outros fatores a influir nesse indicador.

Quando justamente os indicadores de desemprego voltam a diminuir, a partir de 2013, o debate ganha nova vivacidade. Quase poderíamos dizer que existe uma correlação entre esses fatores, embora pareça ser um paradoxo: é quando as taxas de desemprego diminuem que o debate científico acerca da relação entre tecnologia e emprego aumenta. Haverá um desfasamento temporal na relação destes fatores? Uma hipótese poderá estar relacionada com o facto de que, com a tendência de diminuição de desemprego, o foco da atenção se centre em fatores potenciais que podem motivar a perda de postos de trabalho não diretamente relacionados com as políticas macroeconómicas, com os problemas dos mercados globais ou com as disfunções de gestão empresarial. Poderá, por isso, haver um maior interesse acerca de potenciais fatores que influam nessa perda, e que possam ser mais facilmente analisados do que outros fatores mais complexos e que sejam extrínsecos à configuração dos postos de trabalho. Por isso, a sugestão de uma relação direta entre o instrumento de

trabalho e o seu conteúdo pode ser mais facilmente configurável e permite a colocação de uma questão que pode implicar uma resposta mais simples e objetiva. Por exemplo, será que apenas os postos de trabalho com conteúdos pobres (monotonia, repetibilidade, etc.) podem mais facilmente ser automatizáveis? Esta é, porventura, a questão mais significativa acerca dos potenciais impactos da tecnologia no mercado de emprego. Mas era também a questão colocada nos anos de 1970 e 1980.

Este livro tenta responder a essas questões, situar os debates técnicos e sociológicos acerca da relação entre tecnologia e trabalho, e mais concretamente acerca da robótica. Pretendemos seguir os temas de discussão para compreender quais são as dimensões que estão incluídas nesse debate e, assim, entender melhor as respostas possíveis e as alternativas disponíveis. Queremos sobretudo contribuir para o enriquecimento desse debate.

No capítulo sobre a relação entre tecnologia e emprego procuramos abordar o contexto português. Trata-se de uma análise estatística de contexto sobre a situação recente da economia e sociedade portuguesas que nos pode permitir compreender a importância e a relevância deste assunto no contexto do debate público sobre a relação entre tecnologia e emprego.

O capítulo seguinte debruça-se sobre a automação como processo de racionalização. Aqui procedemos a uma reflexão teórica sobre a automação, em contexto nacional e internacional, e acerca das tendências de evolução da automação nas economias modernas. A relação entre automação e produtividade integra-se neste capítulo, assim como a análise das tendências recentes e dos potenciais impactos no emprego. Neste subcapítulo integramos as principais referências conceptuais e teóricas sobre a relação da tecnologia e do emprego, nomeadamente os princípios do determinismo tecnológico, a crítica ao determinismo e as opções organizacionais, a introdução à análise de estudos recentes de referência e a abordagem às perspetivas macroeconómicas e políticas sociais.

No capítulo quarto analisamos a robótica como tecnologia de referência. Aí incluímos os elementos para uma definição de robótica, até porque se trata de uma questão que tem gerado alguma controvérsia, e ainda a emergência da robótica como tecnologia avançada no desenvolvimento da automação. Terminamos o capítulo com a referência às aplicações da robótica que vão da indústria ao que se pode designar como a “robótica em todo o lado”, isto é, em muitos outros setores e mesmo na nossa vida privada. Neste ponto referimos quer os setores de aplicação (indústria automóvel; indústria eletrónica; indústria alimentar; os novos domínios de atividade produtiva: minas, espaço, oceanografia; vestuário; e os novos setores de aplicação na atividade de lazer: sexo, desporto, turismo), quer as funções de aplicação (a cirurgia robótica, os robôs nos cuidados médicos, a robótica como tecnologia assistiva, os robôs na busca e salvamento e a logística e mobilidade). No ponto seguinte integramos o subcapítulo acerca da relação indivíduo-robô na esfera do trabalho, que integra as características da relação indivíduo-robô em ambiente de trabalho, os ambientes complexos de trabalho, a intuitividade como objetivo da relação da robótica com os humanos e a possível contribuição da robótica para a melhoria das condições de trabalho.

O quinto capítulo trata da emergência das questões éticas, legais e sociais (ELS) da tecnologia. Aqui tentamos verificar a especificidade da robótica e os tópicos relacionados com as ELS que requerem mais investigação (problemas éticos, societários e legais e os que integram estes três).

O sexto capítulo é acerca do desenvolvimento da robótica em Portugal, desenvolvendo aí alguns exemplos de atividades pioneiras, introduzindo elementos da agenda nacional sobre o “Trabalho, Robotização e Qualificação do Emprego em Portugal”, a referência aos campos de investigação, as aplicações industriais e as tendências de desenvolvimento da robótica no nosso país.

O capítulo sétimo apresenta as principais conclusões deste trabalho, referindo-se aos limites e às perspetivas de novos

desenvolvimentos no domínio interdisciplinar dos estudos acerca da relação entre robótica e emprego. Aqui verificamos os principais limites da investigação em robótica e os seus novos desafios, as potencialidades de desenvolvimento da robótica, a polémica acerca da substituição dos humanos pelos robôs nos postos de trabalho e, finalmente, as perspetivas de novas aplicações em Portugal.

No final desta pequena introdução gostaria também de realçar as contribuições que obtive para a execução deste livro. Em primeiro lugar, o principal contributo veio dos intensos debates levados a cabo sobre esta questão no seio do Grupo de Trabalho de Avaliação de Tecnologia Robótica constituído em 2013 no Instituto de Avaliação de Tecnologia e Análise de Sistemas do Karlsruhe Institute of Technology (ITAS-KIT), e que agora integra também elementos de outros institutos daquela universidade alemã e que estou a coordenar. Além desses frutuozos debates, também contribuíram para a estruturação de alguns argumentos e ideias a discussão regular integrada nas atividades do Grupo de Investigação sobre Tecnologia e Sociedade do mesmo instituto ITAS-KIT e coordenado por Bettina-Johanna Krings. Em terceiro lugar, outra contribuição teve origem no colega de direção do Observatório de Avaliação de Tecnologia do Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais (CICS.NOVA) Nuno Boavida, de quem fui orientador de doutoramento e que agora é membro da equipa de investigação que integramos no referido centro. Finalmente, e não menos importante, gostaria de realçar a contribuição que as observações, críticas e apoios que sempre recebi da minha mulher, Bettina Krings, tiveram na constituição dos passos argumentativos e no desenvolvimento conceptual deste tema. Estarei sempre grato por esta colaboração, reconhecimento e espaço de convívio que estimulou sempre a busca de novas ideias e capacitou o estabelecimento de novas perguntas.



## 2. A relação tecnologia e emprego: o contexto português

Ao abordar o tema da relação entre robótica e trabalho num contexto geral e internacional, é nossa intenção conhecer também os impactos possíveis que essa relação pode vir a ter em Portugal. Não existem estudos que abordem em particular esta relação. Nem sequer existe estudos sistemáticos a analisar a relação entre tecnologia e trabalho, ou entre tecnologia e emprego. Apenas nos anos de 1990 alguns estudos sobre inovação e emprego foram apoiados pelo Observatório de Emprego e Formação Profissional, ou pelo Instituto do Emprego e Formação Profissional (IEFP). Foram estudos que contribuíram para o conhecimento das dinâmicas de emprego em Portugal e para as transformações do trabalho em diversos setores. Todavia, nos últimos anos, não tivemos uma continuidade desse tipo de estudos e perdemos alguma continuidade das séries estatísticas sobre essa relação. Trata-se de uma necessidade central das instituições públicas que produzem esta informação e que a podem disponibilizar para estudos especializados. Apenas assim poderemos conhecer em Portugal quais as tendências e os obstáculos que se podem encontrar para que a relação entre tecnologia e emprego não implique apenas uma perda líquida de postos de trabalhos ou uma degradação das relações laborais que produza maior desigualdade social e conflitualidade.

Pareceu-nos interessante por isso tentar abordar este conjunto de temas através da consulta a dados estatísticos, ainda de forma desagregada. Grande parte dos dados não se encontram

articulados para que possam contribuir para uma resposta clara. Esses dados permitem-nos, no entanto, estabelecer um conjunto de hipóteses que serão consideradas para uma reflexão acerca da relação de variáveis, ou sobre a evolução recente e futura de algumas dessas variáveis.

Quando falamos de impacto da tecnologia no emprego, de que dimensões estamos a falar? Quais as características do mercado de trabalho? Temos uma predominância de trabalhadores por conta de outrem com elevados níveis de escolaridade? Ou, pelo contrário, o emprego em Portugal ainda se caracteriza por uma grande desqualificação? Que mudanças se produziram nos últimos anos?

Teremos de começar, por exemplo, por saber qual é o volume do mercado de trabalho em Portugal, e como tem evoluído nos últimos anos? Qual é o peso da população ativa no conjunto da população residente? Qual tem sido a variação do volume do desemprego em Portugal? Será um desemprego provocado pela modernização tecnológica? Ou é derivado da implementação de políticas de contenção social e da diminuição da capacidade de investimento empresarial? Qual é o papel da tecnologia e da automatização nestas variações? Será que tem um papel fundamental? Ou é uma influência demasiado ténue e provavelmente irrelevante?

Estas questões são importantes porque muitas questões colocadas sobre a relação entre automatização e emprego ou sobre o papel potencial da robótica podem ser relevantes em contextos de desenvolvimento económico muito diferente do português e quase irrelevantes no contexto nacional. Mas se assim for, que papel pode existir? Se a tecnologia não desempenha nenhuma influência na evolução do emprego, que políticas poderão ou deverão ser definidas? Convém, por isso, começar a desenvolver algumas relações entre diversos indicadores para podermos responder a estas perguntas. E se o não conseguirmos fazer, pelo menos podemos abordar algumas dessas dimensões que

nos permitam estabelecer algumas hipóteses e algumas perguntas mais.

Os quadros seguintes dão-nos uma boa informação sobre isso. Vejamos primeiro a evolução da população residente em idade ativa tal como o quadro seguinte nos apresenta.

**Quadro 1**  
**População residente em idade ativa: total e por grupos etários**

Anos	Grupos etários					
	Total	15-24	25-34	35-44	45-54	55-64
1971	5 343 034	1 397 250	1 046 080	1 098 006	959 408	842 292
1974	5 449 970	1 541 655	1 065 725	1 053 295	984 455	804 840
1975	5 662 280	1 509 595	1 137 265	1 106 640	1 058 815	849 965
1980	6 142 030	1 612 255	1 299 005	1 132 090	1 149 460	949 220
1985	6 465 266	1 681 190	1 416 077	1 176 550	1 143 365	1 048 085
1990	6 606 852	1 623 717	1 444 466	1 301 749	1 135 122	1 101 799
1995	6 748 610	1 600 908	1 481 303	1 364 726	1 189 191	1 112 484
2000	6 939 317	1 491 371	1 554 271	1 475 533	1 307 467	1 110 676
2005	7 016 927	1 286 631	1 614 613	1 543 113	1 397 848	1 174 724
2010	7 013 108	1 158 612	1 473 108	1 596 849	1 497 098	1 287 443
2016	6 715 096	1 101 108	1 182 118	1 555 867	1 514 117	1 361 886

Fontes de Dados: INE – Estimativas Anuais da População Residente

Como se nota, os grupos etários mais idosos têm vindo a aumentar constantemente, enquanto que os mais jovens têm diminuído desde meados da década de 1980. O valor total da população residente aumentou até meados da década passada e tem vindo a diminuir desde então. Esta evolução reforça ainda mais as características da evolução dos grupos etários referidos.

O quadro seguinte trata da informação acerca do total da população empregada em valores absolutos com base nos Inquérito ao Emprego organizados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE).

**Quadro 2**  
**População empregada: total e por situação na profissão principal**  
**(milhares de indivíduos)<sup>2</sup>**

Anos	Situação na profissão principal					
	Total	Trabalhador por conta própria			Trabalhador por conta de outrem	Outras situações
		Total	Empregador	Isolado		
1974	3 694,0	706,5	107,5	599,0	2 417,0	570,5
1975	3 724,0	719,0	107,0	612,0	2 450,5	554,5
1980	3 924,5	716,0	92,5	623,5	2 618,5	590,0
1985	4 269,5	1 110,6	151,3	959,3	2 900,8	258,1
1990	4 717,5	1 214,1	217,6	996,5	3 334,1	169,2
1995	4 415,9	1 138,1	283,0	855,2	3 187,6	90,2
2000	5 041,3	1 189,8	300,7	889,1	3 658,2	193,4
2005	5 047,3	1 200,3	295,7	904,6	3 744,3	102,7
2010	4 898,4	1 085,9	253,1	832,8	3 765,8	46,7
2016	4 605,2	789,1*	219,5	569,6	3 787,2	29,0

Fontes de Dados: INE - Inquérito ao Emprego

\* valor revisto

Tem havido um aumento do volume de emprego desde 1974, mas esse aumento também é paralelo ao aumento da população. Isso diz respeito, sobretudo, à extensão da atividade económica e aos efeitos da sua internacionalização.

Em paralelo ao aumento da população ativa e do emprego, podemos ainda observar a evolução da população desempregada segundo o seu nível de escolaridade.

<sup>2</sup> Para a classificação da situação de empregado e de desempregado, a idade mínima considerada, na operação estatística, é de 12 anos até 1991; 14 anos, de 1992 a 1997; e de 15 anos a partir de 1998.

**Quadro 3**  
**População desempregada: total e por nível de escolaridade completo**  
**(milhares de indivíduos)**

Anos	Nível de escolaridade					
	Total	Nenhum	Básico	Secundário e pós-secundário	Médio	Superior
1992	194,1	13,9	152,1	20,7	2,6	4,8
1995	338,2	21,4	246,1	49,3	7,4	14,0
2000	206,0	8,3	153,7	28,9	n/a	15,0
2005	414,1	14,4	292,1	62,7	n/a	44,9
2010	591,2	19,8	397,5	112,3	n/a	61,7
2016	573,0	11,8	287,3	165,0	n/a	109,0

Fontes de Dados: INE – Inquérito ao Emprego  
n/a: não aplicável

Como se poderá verificar, enquanto o aumento da população desempregada é muito evidente (de quase 200 mil em 1992 para perto dos 600 mil na década de 2010), os valores dos que têm menos escolaridade (ou nenhuma!) têm vindo a diminuir muito lentamente. Convém saber que os valores da população ativa com escolaridade básica ou menos tem vindo a diminuir pelo aumento do esforço público em fomentar a escolaridade, mas são esses grupos de trabalhadores os que mais são atingidos pelo desemprego, e em particular, pelo desemprego de longa duração. Não iremos alongar-nos na análise deste grupo profissional por não ser aquele que mais é atingido pelo desenvolvimento dos sistemas automatizados ou pela aplicação da robótica nas esferas do trabalho.

O dinamismo da atividade económica introduz novas necessidades de emprego e maiores disponibilidades de uma população em idade ativa que desenvolveu as suas competências básicas e que lhe permite entrar no mercado de trabalho obtendo assim maiores rendimentos. No quadro seguinte apresentamos um rácio simples onde se divide o número total da população com idades compreendidas entre os 15 e os 64 anos de idade,

com a população empregada (valores anuais). Com este rácio poderemos compreender melhor as variações encontradas.

**Quadro 4**  
**Rácio da população empregada em relação ao total da população residente em idade ativa de 15 a 64 anos (1974-2016), milhares de indivíduos**

Anos	População ativa 15-64	População empregada	Rácio
1974	5 450,0	3 694,0	1,475
1975	5 662,3	3 724,0	1,520
1980	6 142,0	3 924,5	1,565
1985	6 465,3	4 269,5	1,514
1990	6 606,9	4 717,5	1,400
1995	6 748,6	4 415,9	1,528
2000	6 939,3	5 041,3	1,376
2005	7 016,9	5 047,3	1,390
2010	7 013,1	4 898,4	1,432
2016	6 715,1	4 605,2	1,458

Fontes de Dados: cálculo próprio baseado em INE – Estimativas Anuais da População Residente e Inquérito ao Emprego

Com efeito, utilizando os dois extremos das observações poderemos afirmar que não tem havido uma alteração acentuada da população empregada em relação ao total da população em idade ativa (pouco mais de 1,46). No entanto, verificamos um aumento claro até ao início da década de 1980, mas um decréscimo quase contínuo até ao início da década de 1990. A partir de então (1992) o peso relativo da população empregada volta a aumentar até meados dessa década (1995 com 1,53). Este rácio volta a diminuir até 2008 (1,38). A partir de então volta a subir até 2013 (1,55), descendo a partir daí. É claro que estas variações são compreendidas pela relação do valor da população empregada em relação ao da população em idade ativa. Esta

última evolui não de acordo com políticas económicas de curto e médio prazo, mas sobretudo de acordo com políticas sociais de médio alcance. De facto, em 2008 foi quando Portugal teve o maior número de pessoas residentes no país com idade ativa (de 15 a 64). A partir daí voltou a diminuir ligeiramente. Essa evolução ajuda a explicar as variações acima referidas.

Em 2016 eram pouco mais de 4,016 milhões de indivíduos empregados em todos os setores de atividade (embora em 2002 tenham sido 5,14 milhões). Tendo em consideração a evolução em termos de setores, e sabendo-se que a sua distribuição em 1974 era muito semelhante entre si (na ordem dos 1,2 milhões de empregos), ou seja, cerca de 30% em cada, podemos ver que a evolução destes valores tem mostrado um aumento rápido do emprego nos serviços e uma diminuição nos outros dois setores de atividade. Em percentagem estes valores são bastante expressivos, como se pode ver no quadro seguinte.

**Quadro 5**  
**População empregada: total e por grandes setores**  
**de atividade económica (milhares de indivíduos)**

Anos	Setores de atividade económica			
	Total	Primário	Secundário	Terciário
1974	3 694,0	1 290,5	1 246,0	1 159,0
1975	3 724,0	1 263,5	1 259,5	1 201,0
1980	3 924,5	1 121,0	1 415,0	1 388,0
1985	4 269,5	1 015,9	1 481,6	1 771,0
1990	4 717,5	845,6	1 624,6	2 245,2
1995	4 415,9	508,9	1 415,3	2 491,7
2000	5 041,3	645,2	1 741,7	2 654,4
2005	5 047,3	608,3	1 533,7	2 905,3
2010	4 898,4 *	548,5 *	1 335,1 *	3 014,8 *
2016	4 605,2	318,4	1 128,3	3 158,6

Fontes de Dados: INE – Inquérito ao Emprego

\* Valor revisto

Os mesmos valores são apresentados no quadro seguinte em percentagem anual onde se poderão verificar as mesmas tendências, embora de modo relativo.

**Quadro 6**  
**População empregada: total e por grandes setores**  
**de atividade económica (percentagem)**

Anos	Setores de atividade económica			
	Total	Primário	Secundário	Terciário
1974	100,0	34,9	33,7	31,4
1975	100,0	33,9	33,8	32,3
1980	100,0	28,6	36,1	35,4
1985	100,0	23,8	34,7	41,5
1990	100,0	17,9	34,4	47,6
1995	100,0	11,5	32,1	56,4
2000	100,0	12,8	34,5	52,7
2005	100,0	12,1	30,4	57,6
2010	100,0	11,2	27,3	61,5
2016	100,0	6,9	24,5	68,6

Fontes de Dados: INE – Inquérito ao Emprego

Esta evolução relativa mostra alguns aspetos interessantes. No início da década de 1990, assistimos a uma transferência acentuada de empregos do setor primário para o terciário, na sequência da entrada na Comunidade Económica Europeia (vulgo, CEE) em 1986. Isso poderá dever-se ao forte aumento do investimento na construção pública e privada (infraestruturas rodoviárias, habitação). No final dessa mesma década, assiste-se a um forte aumento do emprego industrial em detrimento do terciário. Inclusivamente, os fundos comunitários permitiram um aumento do peso relativo do setor primários com a modernização da agricultura, pecuária e silvicultura. O novo milénio revela uma evolução contínua das tendências anteriores: decrés-

cimo do emprego na indústria e agricultura e aumento nos serviços.

Em paralelo, Portugal teve um forte aumento dos níveis de escolaridade derivado de rápidas reformas no sistema educativo. Essa clara evolução pode ser testemunhada pelos quadros seguintes.

**Quadro 7**  
**População ativa: total e por nível de escolaridade completo**

Anos	Total	Nenhum	Básico	Secundário e pós-secundário	Superior
1998	5 100,1	490,7	3 607,0	556,6	445,9
2000	5 247,3	477,4	3 657,1	626,5	486,2
2005	5 461,4	317,5	3 637,7	786,8	719,4
2010	5 489,7	223,1	3 397,2	988,0	881,4
2016	5 178,3	90,2	2 436,1	1 347,1	1 304,8

Fontes de Dados: INE – Inquérito ao Emprego

Neste quadro podemos observar o aumento muito rápido da população ativa com escolaridade secundária e pós-secundária, quase triplicando nas últimas duas décadas, e com escolaridade superior, que mais que triplicou no mesmo período. Com uma população ativa de cerca de 5,2 milhões indivíduos, isso significa um aumento relativo muito importante, e significa uma muito melhor capacitação da população ativa para o uso de tecnologias mais avançadas em qualquer setor de atividade. No quadro seguinte (Quadro 8), apresentamos os dados relativos apenas para a população empregada por conta de outrem, pois essa evolução pode demonstrar uma maior capacitação entre a população empregada

**Quadro 8**  
**Trabalhadores por conta de outrem:**  
**total e por nível de escolaridade completo (%)**

Anos	Nível de escolaridade						
	Total	Sem nível de escolaridade	Básico 1.º ciclo	Básico 2.º ciclo	Básico 3.º ciclo	Secundário e pós-secundário	Superior
1998	100,0	5,5	33,3	22,3	15,4	12,6	10,8
2000	100,0	4,9	30,3	22,8	16,5	14,1	11,5
2005	100,0	2,7	24,2	20,6	19,8	16,9	15,9
2010	100,0	1,8	18,7	17,4	22,3	20,7	19,1
2016	100,0	0,9	10,5	12,0	20,9	28,0	27,7

Fontes de Dados: INE – Inquérito ao Emprego

Estes valores confirmam a tendência verificada no quadro anterior, ainda que apenas tenhamos aqui os dados dos trabalhadores por conta de outrem. Neste grupo, em 1998 apenas 23,4% possuíam escolaridade secundária, pós-secundária e superior (a maioria era do grupo com escolaridade básica de 1.º ciclo com 33,3%), e quase duas décadas depois esse valor atinge quase 56%. Os que não têm qualquer nível de escolaridade são agora residuais, e mesmo os que têm escolaridade básica (4 anos ou 1.º ciclo) são apenas 10,5%.

De acordo com um relatório da OCDE sobre as políticas de educação em Portugal: “Em 2011, 58% da população com 25-34 anos de idade completou pelo menos o ensino secundário (em comparação com a média da OCDE de 82%) e 28% completou o ensino superior (em comparação com a média da OCDE de 39%)”. Isto significa que, apesar do rápido aumento da escolaridade média da população empregada, ainda estaremos longe das médias dos países desenvolvidos que integram a OCDE.

O mesmo relatório continua dizendo que “o ensino secundário, obrigatório desde 2009, tem a duração de três anos e inclui cursos do ensino regular e de dupla certificação. Está organizado em quatro eixos: ciências e humanidades, cursos tecnológicos, ensino artístico especializado e ensino profissional. Durante a última década, a percentagem de indivíduos com o ensino secundário cresceu, devendo Portugal continuar a trabalhar para atingir resultados que o aproximem dos outros países da OCDE” (OCDE, 2014: 5). Assim, este investimento no sistema educativo permitiu melhorar rapidamente as condições para um desenvolvimento da capacidade de melhoria da tecnologia e da inovação organizacional. Porquê?

Isso deve-se sobretudo ao seguinte: o desenvolvimento de uma tecnologia não se baseia apenas na capacidade inventiva de algumas pessoas. Esta tem um papel importante, mas vários estudos permitem perceber que as invenções apenas podem ser aplicadas quando existe um ambiente económico e empresarial que as consiga absorver. Atualmente, até mesmo esse ambiente depende de condições de desenvolvimento setorial a nível nacional e internacional. Os processos de globalização influem decisivamente nas tendências de mudança. Mas quando dizemos “ambiente envolvente” estamos a referir o conhecimento técnico disponível, a quantidade de trabalhadores com conhecimentos em engenharia, investigadores com conhecimentos nas áreas de gestão e nas áreas de especialização técnica. Estamos, por conseguinte, a referir um ambiente imaterial fundado no conhecimento. A experiência é um elemento fundamental do conhecimento, mas a educação ocupa o lugar central. Daí a importância em referirmos o papel que as políticas de educação têm tido na capacitação para a mudança tecnológica. Iremos aprofundar estes aspetos mais adiante.

E qual tem sido o investimento empresarial nestes mesmos períodos? Por outras palavras, além do esforço de capacitação do mercado de trabalho para acompanhar as necessidades de

modernização (traduzido em apoios sociais que permitam um crescimento demográfico equilibrado, e em políticas de educação que permitam o aumento médio do nível de informação e conhecimento), qual tem sido o esforço do lado empresarial (público e privado) para contribuir para a melhoria da produtividade e da qualidade de vida?

O investimento do setor financeiro não revela as dinâmicas associadas à mudança do desenvolvimento tecnológico. Trata-se de um tipo de investimento de capitais que gere dinheiro e promove serviços que o realizam. Podem ser, por exemplo, os bancos, as empresas de crédito, as companhias de seguros, ou de contabilidade, os fundos de investimentos, as organizações bolsistas. Este setor tem um mercado próprio e permite ao setor não financeiro usar capitais para a modernização produtiva ou para encontrar novas áreas e produtos inovadores. Portanto, a perceção do que tem mudado nos últimos anos em Portugal em termos tecnológicos tem de ser considerada sobretudo com base na informação estatística do setor não financeiro. Assim, no quadro seguinte, temos a evolução recente da formação bruta de capital fixo das empresas não financeiras por setor de atividade. A formação bruta de capital fixo (FBCF) inclui o investimento em edifícios e construções, em *software* informático e bases de dados, em maquinaria e outros equipamentos utilizados por mais de um ano na produção de bens e serviços<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> In PORDATA, <https://www.pordata.pt/Portugal/Investimento+Forma%+c3%a7%c3%a3o+bruta+de+capital+fixo+em+percentagem+do+PIB-2833>.

**Quadro 9**  
**Formação bruta de capital fixo das empresas não financeiras:**  
**total e por setor de atividade**

Anos	Setores de atividade económica				
	Total	Indústrias transformadoras	Eletricidade, gás e água	Comércio por grosso e a retalho (...)	Transporte e armazenamento
2004	100,0	14,5	11,5	11,6	16,4
2005	100,0	16,5	12,2	12,9	15,8
2010	100,0	17,0	15,9	12,4	10,1
2016	100,0	23,1	10,1	13,7	6,0

Fontes de Dados: INE – Inquérito Anual às Empresas (até 2003) | Sistema de Contas Integradas das Empresas (a partir de 2004)

Neste quadro verifica-se um aumento rápido da FBCF nas indústrias transformadoras, que apenas abrandou em 2007 e 2010. O setor de transportes e armazenamento tem vindo a diminuir esse investimento relativo. O que este gráfico permite compreender é que as indústrias transformadoras estão num forte processo de modernização, e essa capacidade tem-se revelado num conjunto de indicadores que tem provocado alguma surpresa em muitos analistas. Em particular, na capacidade exportadora desse setor.

E o valor acrescentado bruto na indústria e setor de armazenamento e transportes? Este indicador revela a criação de riqueza, ou na descrição formal “o valor acrescentado bruto (VAB) é a riqueza gerada na produção, descontando o valor dos bens e serviços consumidos para a obter, tais como as matérias-primas”. Incluímos o setor de armazenamento e transportes porque se trata de um setor cada vez mais associado ao setor da indústria. As atividades desse setor são consideradas como integradas em processos logísticos que se articulam com a distribuição dos produtos e componentes industriais. Não é possível com os dados disponíveis distinguir os serviços de transporte de

peças com os serviços de transporte de mercadorias, a não ser utilizando uma análise subsetorial mais fina. Mas para estes efeitos de introdução genérica às principais tendências de transformação das atividades produtivas essa distinção não é relevante, considerando que os subsectores de armazenamento e transporte de mercadorias é o mais relevante em termos de emprego e de valor económico nesse setor.

**Quadro 10**  
**Valor acrescentado bruto: total e por ramo de atividade**

Anos	Milhões de Euros				
	Total	Transportes e armazenagem	%	Indústria transformadora	%
1995	78 456,52	3 016,62	3,84	14 189,84	18,09
2000	112 567,96	4 647,49	4,13	19 325,52	17,17
2005	137 599,40	5 590,27	4,06	19 924,98	14,48
2010	158 325,86	7 436,80	4,70	20 822,10	13,15
2015	156 838,90	7 655,78	4,88	21 860,62	13,94

Fontes de Dados: INE – Contas Nacionais Anuais (Base 2011)

Como se pode verificar com este quadro, a criação de riqueza na indústria tem vindo a diminuir, atingindo o seu ponto mais baixo em 2009 (valores em percentagem de cada setor em relação ao conjunto dos setores). A retoma desde esse momento colocou a distribuição da realização do VAB das empresas em 2015 idêntico ao de 2004. A tendência parece ser a de prosseguir nesse aumento, ou seja, a produção de VAB da indústria transformadora é superior a 1/3 do VAB nacional. O que é interessante ainda é que o aumento do mesmo valor no setor de transportes e armazenagem é muito baixo e está ainda na ordem dos 7% anuais em relação ao conjunto de toda a economia.

No entanto, o crescimento nestes setores, tomando como referência o ano inicial desta série (2004), é diferenciado. Nota-se

um aumento mais substancial do setor de armazenamento e transportes, embora não muito significativo, como se pode ver no quadro da página seguinte. Ou seja, consideram-se agora os valores de crescimento percentual em relação a um valor inicial (100) de cada setor.

Como se pode ver nesse quadro, o VAB das empresas tem crescido nos últimos anos (desde 2012) depois de um período extenso de acentuada diminuição desde 2007 e 2008. Mas atualmente é muito provável que assistamos a um aumento ainda superior àquele que se fez sentir antes da crise financeira. Mesmo assim, se o crescimento do VAB na indústria transformadora é de 5% em 2015 relativamente a 2004, isso significa que com essa taxa de crescimento a indústria conseguiu recolocar-se nos 25% da criação nacional de riqueza medida em VAB empresarial. A manter-se essa taxa de crescimento, a criação de riqueza da indústria poderá atingir os 30% do VAB nacional, mas é pouco provável que o ultrapasse porque os outros setores também estarão em crescimento. O crescimento poderá ser, no entanto, maior apenas se o processo de modernização da indústria se desenvolver rapidamente. Mas para isso será necessária a localização em Portugal de significativos investimentos diretos estrangeiros em setores de elevada produtividade e qualificação, e que as empresas nacionais se consigam reconverter rapidamente aumentando significativamente a sua formação bruta de capital fixo, ou seja, intensificando ainda o investimento em tecnologia.

Nos anos de 1980 assistimos a um processo semelhante de forte investimento estrangeiro e de modernização que culminou com o estabelecimento dos programas PEDIP<sup>4</sup>, que resultaram de uma articulação de Fundos Estruturais Europeus<sup>5</sup> e da

---

<sup>4</sup> Programas Estratégicos de Desenvolvimento da Indústria Portuguesa (PEDIP I e PEDIP II).

<sup>5</sup> Fundo Social Europeu (FSE) e Fundo Estrutural de Desenvolvimento Económico Regional (FEDER).

## Quadro 11

### Valor acrescentado bruto: total e por ramo de atividade na indústria transformadora e nos transportes e armazenagem

Anos	Ramo de atividade														
	Total	Ali	Vest/Cal	Mad/Pap	Petr	Quim	Farm	Plast	Metal	TIC	Elet	Maq	MTran	RepMan	Trans
1995	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1996	106	115	106	98	146	101	101	107	101	114	111	111	195	110	107
1997	115	120	109	108	195	109	109	119	112	129	124	124	220	121	118
1998	124	135	108	117	274	96	100	130	121	137	131	129	231	128	130
1999	133	155	111	119	185	93	96	138	129	142	141	152	233	139	142
2000	143	151	109	137	245	96	104	137	138	149	147	164	247	146	154
2001	152	166	110	132	240	97	109	140	140	155	151	164	264	160	162
2002	159	179	114	130	188	99	118	142	145	133	146	176	258	166	168
2003	163	185	110	124	217	100	111	135	141	133	134	171	235	164	174
2004	170	190	105	120	374	108	114	136	152	139	129	168	233	164	181
2005	175	195	97	126	648	108	118	134	152	148	128	167	223	156	185
2006	183	199	98	136	742	106	112	135	166	151	129	179	224	155	200
2007	194	198	102	142	647	119	134	143	179	165	134	201	236	164	227
2008	199	206	99	128	833	103	134	140	191	146	140	210	215	175	226
2009	198	217	95	112	188	95	143	135	161	94	133	193	182	181	233
2010	202	219	96	131	512	112	131	137	171	121	141	190	212	182	247
2011	197	210	96	121	368	114	131	132	163	95	128	174	219	179	238
2012	188	206	96	112	303	94	137	125	158	84	117	187	208	172	230
2013	191	215	102	113	251	99	149	125	161	85	122	197	214	171	239
2014	193	230	108	111	223	98	139	127	171	85	122	220	222	177	236
2015	200	236	114	122	700	123	154	136	168	88	125	222	234	186	254

Fontes de Dados: INE – Contas Nacionais Anuais (Base 2011)

Ali – Indústrias alimentares, das bebidas e do tabaco

Vest/Cal – Indústria têxtil, do vestuário, do couro e dos produtos de couro

Mad/Pap – Indústria da madeira, pasta, papel e cartão e seus artigos e impressão

Petr – Fabricação de coque e de produtos petrolíferos refinados

Quim – Fabricação de produtos químicos e de fibras sintéticas e artificiais

Farma – Fabricação de produtos farmacêuticos de base e de preparações farmacêuticas

Plast – Fabricação de artigos de borracha, de matérias plásticas e de outros produtos minerais não metálicos

Metal – Indústrias metalúrgicas de base e fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos

TIC – Fabricação de equipamentos informáticos, equipamentos para comunicação, produtos eletrónicos e óticos

Elet – Fabricação de equipamento elétrico

Maq – Fabricação de máquinas e equipamentos, não especificados

MTran – Fabricação de material de transporte

RepMan – Indústrias transformadoras não específicas; reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos

Trans – Transportes e armazenagem

integração de Portugal na Comunidade Económica Europeia em 1986. Esta fase foi particularmente dedicada à modernização das infraestruturas produtivas e logísticas. Foi exatamente entre o final dos anos de 1980 e meados dos anos de 1990 que se verificaram grandes investimentos em todos os setores produtivos. Com os acordos comerciais internacionais vieram as iniciativas de liberalização que obrigaram a profundas alterações na indústria têxtil de vestuário, no setor do calçado e na indústria alimentar. Foram setores que conheceram enormes dificuldades de adaptação, o que provocou significativos volumes de desemprego e forte agitação social. Foi também o período que conheceu maior investimento direto estrangeiro, em particular no setor de transportes. Esta fase de modernização corresponde ao momento em que as estratégias de automatização se fizeram sentir em muitas empresas. E isso aconteceu não apenas no setor da indústria do metal, mas em muitos outros setores. Aquelas indústrias que entraram em crise começaram lentamente a retomar a sua atividade, encontrando significativas áreas de mercado de nicho que as permitiram manter-se ou modificar os seus processos produtivos. Com a entrada de uma nova geração de técnicos e empresários no mercado de trabalho, esses setores passaram a capacitar-se para integrar mercados internacionais e integrar cadeias de valor globais.

A última vaga de progresso tecnológico, sobretudo desde a última década, é conhecida como Indústria 4.0, e tem sido objeto de intenso debate. Após as revoluções industriais anteriores, este processo atual envolve interligar o mundo virtual-digital e físico, bem como a aprendizagem automática na produção. Isso inclui máquinas, produtos, sistemas de informação e comunicação e seres humanos. O objetivo desta estratégia é fazer com que a cadeia de valor possa ser controlada inteiramente por meios digitais ou que se possa controlar de forma auto-organizada, além das fronteiras da empresa. O resultado será um sistema de produção mais eficiente, flexível e individual. Isto articula-se

com o debate sobre o futuro do trabalho. Muito recentemente, Portugal também tentou integrar-se neste processo, embora de modo desequilibrado devido à sua estrutura económica e financeira, que, enfrentando acentuado controlo, não lhe permite estabelecer estratégias de investimento nesta direção.

Por um lado, existem alguns receios de perda de emprego se os postos de trabalho atuais se tornarem redundantes devido a robôs interligados. Por outro lado, temos imagens brilhantes de ganhos de emprego e inovação e de alívio do estresse para os funcionários. O desenvolvimento tecnológico é tão antigo quanto a humanidade e o trabalho não deixou de existir ainda. Portugal conheceu um processo de modernização muito rápido e intenso desde a década de 1980 que permitiu grandes incentivos ao investimento em novas tecnologias na indústria. Estes programas tinham o apoio dos fundos estruturais europeus e os mecanismos de avaliação *ex ante* e *ex post* foram estabelecidos em paralelo com a participação de todas as partes interessadas e parceiros sociais. A modernização industrial mais recente em Portugal tem tido um impacto significativo no aumento das qualificações laborais e na reestruturação do mercado de trabalho.

Não se espera que o progresso tecnológico em Portugal possa reduzir de forma maciça o trabalho neste momento, quando não o fez nas últimas décadas. Provavelmente tem havido um aumento das necessidades de competências e uma melhoria das qualificações nos locais de trabalho da indústria. Os que entram neste setor têm níveis muito mais elevados de escolaridade e podem ser integrados em ambientes de trabalho complexo. No entanto, este processo não é tão fácil quanto parece. Algumas evidências empíricas parecem ser contraditórias e precisam de mais investigação.

Estes novos processos poderão estabelecer um quadro de modernização económica e de progresso tecnológico recente em Portugal e dar origem a uma reorganização dos *clusters* produtivos. Iremos rever mais adiante o conceito de “Indústria 4.0”, tal

como tem sido utilizado nos debates internacionais, e relacioná-lo com as novas mudanças e tendências da economia portuguesa. A partir destes resultados, analisaremos em pormenor os desenvolvimentos potenciais na indústria portuguesa e verificaremos que relação poderá existir entre o desenvolvimento da tecnologia e da automatização no setor produtivo e as variações no volume de emprego e na sua qualificação. Finalmente, iremos discutir algumas possíveis implicações, para identificar barreiras e opções potenciais com base em abordagens de avaliação de tecnologia.



### 3. A automação como processo de racionalização

A robótica é um dos elementos centrais da automatização que se desenvolveu com a modernização tecnológica do processo de industrialização. Já encontramos os primeiros elementos da automatização com as máquinas de fabricação e de montagem no século XIX. Mas os passos mais significativos no seu desenvolvimento dão-se com a implementação dos processos de racionalização da produção com a aplicação dos princípios de organização “científica” propostos por Frederick Taylor no início do século XX. Pouco mais tarde foram aplicados e melhorados com as propostas de Henry Ford para o estabelecimento das cadeias de produção que amplificam a massificação da produção. Desde finais da Segunda Guerra Mundial, a investigação científica para fins militares conseguiu aplicar protótipos de controlo numérico de máquinas-ferramentas no fabrico de hélices para helicópteros. Assim, o sucesso desta experiência permitiu a expansão da utilização de tecnologias de informação (TI) acopladas em máquinas-ferramentas com microprocessadores que permitiam automatizar e flexibilizar a fabricação de diversos produtos na mesma máquina. A associação de máquinas-ferramentas a outras de transferência de peças na mesma linha de produção incrementou a automação. A aplicação de robôs é feita a partir dos anos de 1960 com o sucesso que hoje conhecemos.

Neste capítulo incluímos por isso uma reflexão teórica sobre os processos de automação, a que se segue uma análise resumida das tendências de evolução da automação nas economias

modernas. Terminamos esta abordagem com um estudo da relação entre automação e produtividade. Em qualquer um dos casos tentamos ainda associar este debate à realidade portuguesa para melhor situar as conclusões do debate a nível internacional e, na medida do possível, inserir também os elementos que ecoaram em Portugal com esta discussão científica e política.

### 3.1. Reflexão teórica sobre a automação

A automação é diferenciada do conceito de automatização pelo facto de esta apenas dizer respeito ao autocontrolo da máquinas e dispositivos, ou seja, sem intervenção humana. Pelo menos, Elgozy explicitou assim essa diferença. Para este economista francês falecido nos finais dos anos 80, “a automatização difere essencialmente da mecanização, por mais elaborada que esta seja, pelos meios de controlo que implica. Não é nem um prolongamento, nem uma generalização da mecanização: tende para o funcionamento autónomo da máquina” (Elgozy, 1968: 46-47). Mais adiante refere mesmo que “o termo ‘automação’ aplica-se a todo o processo que permite às máquinas não apenas controlarem-se, mas tornarem-se, de um modo geral, mais automáticas” (idem: 47).

Esta imprecisão é de certo modo ultrapassada pelas definições relativas a distintas aplicações. John Diebold, que publicou o livro *Automation: The advent of the Automatic Factory* em 1952, referia-se ao conceito de automação para designar os métodos de comando automático dos meios de produção. O sentido seria sobretudo sugerido pela contração dos conceitos de “automatização” e de “organização”.

De acordo com Elgozy, “a automação torna-se assim um conceito de fabricação industrial, cujo valor resulta tanto da eficácia dos métodos ou das máquinas como das dos homens” (Elgozy, 1968: 50). Noutro estudo, mas do início da década de 80, Lloyd

e Mills definiam automação como sendo “a substituição da potência muscular humana e das capacidades cognitiva e informacional pelos dispositivos mecânicos e eletrônicos para operar, ajustar e controlar o processo de produção” (Lloyd e Mills, 1981: 163). Finalmente, e mais recentemente, Federico Butera publicou a sua definição de automação na *International Encyclopedia of the Social and Behavioural Sciences* onde refere que “a automação é um estágio no processo para sistemas integrados de processos, tecnologia, organização, papéis e valores, onde a tecnologia desempenha uma larga variedade de tarefas existentes e novas, e onde a interação é concebida entre seres humanos e sistemas técnicos com o objetivo de atingir produtos e serviços ótimos” (Butera, 2015: 296). Este sociólogo italiano sublinha, assim, a relação entre as tarefas humanas de trabalho, o automatismo mecânico e a integração das dimensões tecnológicas, organizacionais e sociais.

O processo de industrialização e a introdução dos sistemas automatizados têm interessado à sociologia já desde início dos anos 1970, embora com maior envolvimento dos cientistas norte-americanos.

O livro de Braverman intitulado *Labor and Monopoly Capital*<sup>6</sup> iniciou o chamado (por Braverman) debate do processo de trabalho (ou *labor process debate*), onde ele examina a sua própria experiência de acordo com uma perspectiva marxista, pois ele foi um trabalhador industrial. Ele chamou a atenção para processos de trabalho que não foram considerados pela larga maioria dos cientistas na altura. Ou seja, que os modelos de gestão capitalistas serão a principal causa da diminuição das qualificações nas organizações. Esses modelos integram o investimento crescente na tecnologia e no aumento da automatização.

Este autor representa, de facto, uma mudança importante na perspectiva do conhecimento dos processos de automati-

---

<sup>6</sup> Braverman, Harry (1974). *Labor and Monopoly Capital*. Free Press: New York.

zação. Ele analisou com muito detalhe as características dos equipamentos mais modernos que estavam a ser introduzidos desde os anos de 1960. Ele referiu, por exemplo, as máquinas-*-transfer* que começaram a caracterizar as linhas de produção de motores para a indústria automóvel. Ele referia que “quando um tal sistema inclui arranjos para a atuação da máquina por peça de trabalho, de modo que a necessidade de trabalho direto diminui ainda mais, a linha de produção torna-se ‘automática’” (Braverman, 1974: 192). Por conseguinte, a automação implica uma atuação de máquinas interligadas, independente da intervenção humana, que transformam sucessivamente as peças de trabalho e as transportam de um posto de trabalho para o seguinte de acordo com um processo predefinido e racional de produção.

Esta racionalização do processo produtivo tem implicado, não apenas o desenvolvimento tecnológico (das máquinas, componentes e produtos), mas também novos processos de trabalho que requerem menos intervenção humana. Esses processos estão centrados na função da máquina e não mais dos operadores humanos. Como refere ainda Braverman, “adicionando à sua função técnica de aumentar a produtividade do trabalho (...), a maquinaria tem também no sistema capitalista a função de desinvestir a massa de trabalhadores do seu controlo sobre o seu trabalho” (Braverman, 1974: 193). E isso mais claramente parece acontecer com os sistemas automatizados de produção.

Este debate pode encontrar as suas raízes em Thorstein Veblen que viveu nos Estados Unidos entre 1857 e 1929 e sobretudo conhecido pelo seu livro *The Theory of the Leisure Class* de 1899. Mas também muitos referem a importância de Marx pelo facto de já ter referido no seu livro *Crítica da Economia Política* que uma máquina, ao substituir uma certa quantidade de mão de obra, deve ter um valor de troca determinado pela quantidade de tempo de trabalho gasto na sua produção. Marx referia também (*O Capital*, Vol. 1, capítulo 15) que as máquinas,

consideradas sozinhas, encurtam as horas de trabalho, mas, ao serviço do capital, alongam-nas. Isso acontece uma vez que, a máquina, em si, alivia o trabalho, mas quando empregada pelo capital, eleva a sua intensidade. Por conseguinte, podemos concluir que este fenómeno que acompanha o desenvolvimento da tecnologia (alívio da carga de trabalho e aumento da sua intensidade) é um paradoxo. Em si, a tecnologia pode contribuir para melhorar as condições físicas, mas pode contribuir para a produção de efeitos negativos que devem ser considerados nesta avaliação. A racionalização do processo produtivo tem, assim, funções contraditórias que importa realçar.

Outro conjunto de características do desenvolvimento dos sistemas tecnológicos é a miniaturização e a convergência tecnológica. Quer um, quer o outro têm relação direta com o trabalho, pois a miniaturização permite que cada máquina ou equipamento a ser utilizado em atividades de trabalho contenha cada vez mais elementos e componentes, e o nível de introdução de microprocessamento de informação seja cada vez maior. Atualmente, quase todas as máquinas e equipamentos de trabalho contêm funções de processamento de informação e de comunicação de dados, o que, mais uma vez, alivia a carga de trabalho, mas pode também aumentar a sua intensidade.

O transistor é o elemento de construção fundamental de cada *chip* e, portanto, de todos os aplicativos de TI. Nos últimos 50 anos, o número de transistores *chip* duplicou aproximadamente a cada dois anos. Esta tendência de miniaturização ou compressão é chamada de Lei de Moore, e nas últimas décadas, isso significou que os computadores se tornaram cada vez mais pequenos, poderosos e acessíveis. Na década de 1970, grandes computadores *mainframe* eram acessíveis somente aos governos e às empresas, e apenas especialistas em informática poderiam operá-los. Agora, a generalidade das pessoas utiliza *smartphones* em qualquer parte do mundo. Outros dispositivos também diminuiram de tamanho.

Em *The Rise of the Network Society*, Castells (1996) afirma que o desenvolvimento da convergência é uma característica importante da revolução da informação. Por outras palavras, as TI misturam tecnologias e processos preexistentes. Podemos identificar quatro convergências cruciais: 1) digitalização dos processos de produção, 2) digitalização dos processos de comunicação, 3) convergência de sistemas ciberfísicos, 4) convergência nano-bio-info-cognitiva – NBIC. Aqui, a engenharia mecânica e a eletrónica combinam em mecatrónica. O advento da automação e dos robôs transformou radicalmente o trabalho em inúmeras fábricas, e continuará a fazê-lo nos próximos anos. A segunda forma de convergência é a digitalização dos processos de comunicação. As tecnologias de informação e comunicação (TIC) combinam-se. Na década de 1990, essa convergência levou ao surgimento da Internet. Ao longo dos anos, a Internet desenvolveu-se a partir de uma fonte de informação interativa para utilizadores. Logo a seguir começou a ser também aplicada em meios industriais. A terceira convergência é de grande alcance e surge nos últimos anos, permitindo a convergência da Internet com o mundo físico. Os produtos físicos recebem um endereço de Internet (endereço IP) e poderão ser expandidos com sensores, poder computacional e facilidades de comunicação. Novos sistemas automatizados em fábricas modernas começam a utilizar esta forma de convergência. Uma quarta forma de convergência é a “convergência NBIC”: uma interrelação cada vez mais estreita entre as ciências naturais (nanotecnologia e tecnologia da informação) e as ciências da vida (biotecnologia e tecnologia cognitiva) (Van Est, 2014). Esta forma não sido, no entanto, utilizada extensivamente na indústria.

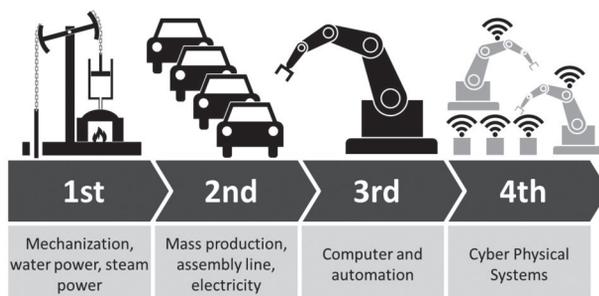
### 3.2. As tendências de evolução da automação nas economias modernas

Os processos de automação da produção conheceram evoluções muito significativas nas últimas décadas. A principal diz respeito à introdução do controlo numérico nos equipamentos de produção. Muitos setores industriais passaram a ter equipamentos produtivos com microprocessadores de informação e, sobretudo desde os anos de 1980, passaram a aplicar redes de comunicação entre esses processadores e os sistemas de conceção assistida por computador (CAD) e sistemas de gestão que permitiram uma maior integração das diversas funções produtivas. Assim, a fabricação passou a ter funções associadas de comunicação, de conceção (*design*) e de gestão devido à capacidade que as TIC ofereciam.

Este processo de automatização evoluiu profundamente nos últimos anos, mesmo com a aplicação de TIC. Os sistemas mecânicos aperfeiçoaram-se com os elementos pneumáticos e eletrónicos. E estes, em conjunto, articularam-se com TIC e com sistemas de inteligência artificial. Novos conceitos de produção começaram a ser utilizados. Primeiro, foram os sistemas “flexíveis” de produção, depois os sistemas “integrados” por computador.

Esta evolução permitiu integrar os vários elementos de diversas abordagens da automação, como, por exemplo, os sistemas imbuídos nos equipamentos industriais, a comunicação entre computadores, máquinas e serviços, ou ainda a aplicação de abordagens de computação paralela e inteligência artificial aos sistemas produtivos. Recorrendo a estes distintos desenvolvimentos e integrando-os nos ambientes produtivos, temos atualmente o novo conceito de “Indústria 4.0”. A referência é normalmente mais clara através da seguinte imagem que pode ser encontrada em vários locais<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Cf. Christoph Roser em <http://www.allaboutlean.com>.



O mais importante é referir que este conceito integra em grande parte os elementos dos anteriores. Se considerarmos o processo de mecanização desenvolvido desde a “Revolução Industrial”, esta começou por implicar a localização de grandes massas de trabalhadores nos locais de produção, ou fábricas. As fontes de energia utilizadas começaram por ser energia hídrica para utilização de máquinas de produção contínua (quer na indústria alimentar, ou no setor têxtil), até à energia produzida com a queima de hidrocarbonetos (carvão e mais tarde petróleo).

No início de século XX desenvolve-se uma capacidade inovadora para a produção industrial. A Ford introduz as linhas de montagem que, a partir de 1912, com o princípio do fabrico em cadeia contínua ajudam a produção em massa de produtos complexos (automóveis). Com isso, as linhas de montagem permitem uma forte segmentação de tarefas com recurso aos princípios de organização já estabelecidos na transição do século por Frederick Taylor. Mais tarde, cerca da década de 1920, foi possível aplicar em toda a indústria a energia elétrica, melhorando o desempenho de novas máquinas e permitindo dar os primeiros passos para a automatização. Várias estações elétricas passaram a ser automáticas a partir de 1917, o mesmo se passou com as refinarias e outras indústrias de processo onde o controlo era o elemento central. A partir de meados dos anos 40, a partir da

investigação aplicada no MIT, desenvolve-se o comando numérico para máquinas-ferramentas. Estas podem assim ser utilizadas no setor militar e aeronáutico para produzir peças de maior complexidade.

A Terceira Revolução Industrial (ou como agora seria definida, a Indústria 3.0) emerge nos anos de 1960 com o início da aplicação de dispositivos programáveis às máquinas industriais. O controlo numérico começou a ser aplicado no setor de fabricação em metal ainda nessa década, na qual começam a ser introduzidos também os primeiros robôs. Elgozy afirma que “é preciso esperar por 1960 para que as máquinas de comando numérico assegurem trabalhos de perfuração, abertura de roscas e torneamento em fábricas do setor privado: esta aplicação não tardou a transformar as formas de trabalho em todas as oficinas” (Elgozy, 1968: 70). A indústria de processo (química, papel, cimento, borracha, energia) já vinha aplicando com sucesso sistemas automatizados nas suas linhas de produção. Mas a computadorização mais intensiva começou a ser feita neste tipo de produção a partir dos anos 50 para o controlo de fluxos e monitorização de todo o sistema. Só a partir de finais dos anos 70 é que assistimos a uma maior integração dos sistemas de informação e comunicação em ambientes industriais. E isso aconteceu simultaneamente nos países mais industrializados, mas também (embora em menor escala) em Portugal. Nesta fase de desenvolvimento da indústria conheceram-se dois modelos distintos de substituição das tarefas humanas e de integração da produção:

- a) o modelo da “fábrica sem pessoas”, que tinha como objetivo a diminuição de custos de trabalho e o aumento da mecanização e da robótica<sup>8</sup>;

---

<sup>8</sup> Em Itália, a FIAT tentou aplicar este modelo na sua fábrica de Cassino na década de 1980.

- b) o modelo da “fábrica integrada”, que mantinha uma porção significativa das tarefas humanas ao mesmo tempo que se introduziam sistemas automatizados<sup>9</sup>.

A nova fase de desenvolvimento (ou a Quarta Revolução Industrial) integra os elementos da terceira e adiciona os novos acima referidos. Teremos assim, com este conceito de “Indústria 4.0” sistemas produtivos fortemente automatizados, com uma crescente computorização de atividades e integração de diferentes tecnologias (características da chamada Terceira Revolução Industrial). Mas além disso, novas tecnologias estão disponíveis e podem ser integradas nos sistemas produtivos industriais aumentando a sua capacidade e a sua produtividade. A possibilidade de incluir sensores de monitorização e rastreabilidade permitem um controlo mais desenvolvido. Sistemas de realidade aumentada e de interatividade indivíduo-máquina muito mais intuitivos permitem o recurso a qualificações de trabalho que antes eram muito difíceis. Tudo isto tem vindo a ser articulado com sistemas distribuídos de informação que permitem uma comunicação com clientes e fornecedores muito mais rápida e rigorosa.

A automatização tem sido realizada de modo contínuo e em paralelo com o desenvolvimento das economias e das sociedades. Alguns textos recentes sublinham o enquadramento social que estas mudanças tecnológicas têm produzido. Uns referem as suas implicações para o trabalho e o emprego (cf. Fernández-Macías, 2017; European Commission, 2017), outros desenvolvem os aspetos associados à organização do trabalho (cf. Benhamou, 2017), e outros referem ainda as alterações potenciais da produtividade (cf. Acemoglu e Restrepo, 2017b). Um aspeto é fundamentalmente claro: a automatização da produção e de muitos serviços tem implicações diretas no trabalho e no emprego. Não é apenas um aspeto derivado das características

---

<sup>9</sup> Os exemplos de várias fábricas da Toyota caracterizam este modelo nessa fase.

intrínsecas potenciais da tecnologia. A automatização pode desenvolver-se em diferentes direções dependendo das características dominantes da organização do trabalho, dos mercados laborais e da capacidade de geração de riqueza. As tendências de evolução da automação dependem desta inter-relação e podem adquirir diferentes direções, como veremos a seguir.

### **3.3. A relação entre automação e produtividade**

Geralmente existe uma relação contabilística para a medida da evolução da produtividade, mas desse modo nem sempre poderemos compreender as forças que podem motivar essa evolução.

Um estudo recente estabelece esta relação entre automação e produtividade do trabalho. No relatório de Kromann, Skaksen e Sørensen da Copenhagen Business School, diz-se que existem três hipóteses sobre o impacto da automação: “primeiro, essa automação aumenta a produtividade do trabalho; segundo, que a automação diminui o emprego a curto prazo; em terceiro lugar, essa automação aumenta o emprego a longo prazo. O estudo empírico deste artigo confirma as três hipóteses. O estudo empírico é realizado através da aplicação de dados de diversos países, e de diversos setores produtivos sobre o uso de robôs industriais como medida de automação. Verificou-se que a automação tem um impacto positivo significativo sobre a produtividade no curto prazo, bem como a longo prazo. Além disso, a automação tende a reduzir o emprego no curto prazo. No longo prazo, no entanto, o emprego aumenta” (Kromann, Skaksen e Sørensen, 2011: 15). Estas conclusões representam, por conseguinte, motivos óbvios de preocupação para a tomada de decisão pois a curto prazo é difícil encontrarem-se soluções para os problemas colocados pela automação e pela robotização.

Um dos objetivos associados à introdução da robotização em sistemas de produção é o aumento da produtividade pela

diminuição dos custos de trabalho. No entanto, uma justificação publicamente apresentada é geralmente a da necessidade de melhoria das condições de trabalho. Seria então expectável que os setores onde a robótica tem sido introduzida são aqueles com piores condições de trabalho, ou pelo menos onde as condições deficientes de trabalho podem afetar diretamente os objetivos de produtividade.

É difícil retirar uma conclusão objetiva desta hipótese pois não existem estatísticas disponíveis sobre o número de robôs introduzidos em Portugal, pelo menos, desde os anos de 1990. É por isso necessário conhecer essa relação a partir de indicadores indiretos. Elgozy já havia chamado a atenção para o problema do relacionamento simples de variáveis objetivas que podem induzir em erro. Os seus exemplos ainda são verificáveis hoje em dia e são elucidativos. Refere ele que “visto que a produtividade de uma oficina se mede pelo número de peças produzidas por operário produtivo num dado período de tempo, a passagem de máquinas-ferramentas manuais a máquinas em cadeia provoca um melhoramento cuja taxa de aumento oscila entre 15 e 20. Se considerarmos não só uma oficina automatizável, mas o conjunto de uma fábrica ou de uma administração, o aumento médio de produtividade torna-se evidentemente menos elevado, pois que certos serviços são pouco automatizáveis e alguns não o são de forma alguma” (Elgozy, 1968: 472-473). Se a estes exemplos juntarmos as máquinas-ferramentas de comando numérico e os robôs as conclusões serão as mesmas. Numa fábrica que utilize robôs, os níveis globais de produtividade do trabalho nessa unidade serão uma média que inclui o resultado da operação com os robôs e também com as máquinas convencionais ou postos de trabalho manuais dessa mesma unidade. Se considerarmos uma análise estatística mais alargada já teremos de considerar conjuntos de unidades de produção com algumas dessas tecnologias avançadas em conjunto com outras que não dispõem essas tecnologias. Daí que este exercício deva ser realizado com bastante cautela.

A análise da evolução da produtividade aparente do trabalho considera geralmente o total da atividade produtiva e pode incluir ainda a informação por ramo de actividade (como, por exemplo, com dados fornecidos pelo INE e PORDATA). Em geral, este indicador significa a riqueza que se obtém na produção de bens ou serviços por trabalhador<sup>10</sup>. Trata-se de um indicador que poderia ser revelado pelo efeito da introdução de novas tecnologias, mas é muito difícil isolar os elementos que integram a observação desses dados. Podemos dizer que a maneira mais viável de conhecer os efeitos em termos de produtividade gerados por uma determinada tecnologia seria a realização de medições e observações detalhadas dessas mesmas tecnologias por comparação com outras similares mas de tipo convencional. Assim, apenas com estudos de caso seria possível realizar uma análise criteriosa. Não sendo possível fazê-lo, a análise dos dados estatísticos disponíveis permite apenas acercar-nos do problema de forma aproximada. Com esses dados poderemos então elaborar conjunto de hipóteses significativas.

Outra dimensão a considerar nesta análise é o fator tempo: o crescimento da produtividade é diferenciado no tempo. Para explicar melhor esta ideia, podemos dizer que, em muitos países industrializados, o crescimento da produtividade foi muito elevado no período de 1950 a 1970. A taxa de crescimento tem vindo a decrescer nas décadas seguintes (OECD, 2015: 16). De acordo com um estudo recente da OCDE sobre o futuro da produtividade, a taxa de crescimento da produtividade (média anual do PIB por hora trabalhada) no Japão era cerca de 7% no período de 1950-1972, vindo a decrescer até atingir pouco menos que 1% de 2004-2013. Na média do sul da Europa passou de 5,8% em 1950-1972 para 1,2% em 2004-2013. Exceto a Coreia do Sul, em praticamente nenhum país ou região se veri-

---

<sup>10</sup> É frequente simplificar a expressão, referindo-a como produtividade do trabalho ou, simplesmente, produtividade.

ficaram aumentos significativos. Isso acontece porque o efeito da introdução e disseminação de sistemas automatizados no pós-Guerra Mundial causaram impactos muito significativos. Mas, apesar de uma constante aplicação de novos sistemas tecnológicos, o crescimento da produtividade do trabalho, apesar de ainda ser positivo, não é tão forte como algumas décadas atrás.

Neste estudo da OCDE apresentam-se várias razões baseadas em dimensões estruturais dessa diminuição (OECD, 2015: 18), a saber:

- I. Com o início do milénio assistimos a um declínio geral na contribuição da composição do trabalho (ou seja, acumulação de capital humano) para o crescimento do PIB nos países da OCDE;
- II. A contribuição do capital para este valor também diminuiu no mesmo período, embora acentuando-se após a crise financeira de 2007, sobretudo nos Estados Unidos, na Europa, na Coreia e no Japão;
- III. Entre 2000 e 2007, a produtividade multifatorial diminuiu em quase todos os países da OCDE.

Vejamos então, para o caso português, qual foi a evolução recente (1995-2014) da produtividade do trabalho nos diferentes setores da indústria transformadora.

**Quadro 12**  
**Evolução da produtividade aparente do trabalho:**  
**total e por ramo de atividade**

Anos	Ramo de atividade														
	Total	Ali	Vest/Cal	Mad/Pap	Petr	Quim	Farm	Plast	Metal	TIC	Elet	Maq	MTran	RepMan	Trans
1995	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2000	127	145	112	135	305	105	113	126	121	128	125	156	205	129	138
2005	157	204	130	144	909	126	161	141	145	138	171	177	220	149	153
2010	188	234	175	191	843	154	182	177	170	149	208	224	270	195	195
2015	199	265	200	205	1256	187	205	193	178	103	174	256	287	209	210

Fontes de Dados: INE – Contas Nacionais Anuais (Base 2011)

Ali – Indústrias alimentares, das bebidas e do tabaco  
Vest/Cal – Indústria têxtil, do vestuário, do couro e dos produtos de couro

Mad/Pap – Indústria da madeira, pasta, papel e cartão e seus artigos e impressão

Petr – Fabricação de coque e de produtos petrolíferos refinados

Quim – Fabricação de produtos químicos e de fibras sintéticas e artificiais

Farma – Fabricação de produtos farmacêuticos de base e de preparações farmacêuticas

Plast – Fabricação de artigos de borracha, de matérias plásticas e de outros produtos minerais não metálicos

Metal – Indústrias metalúrgicas de base e fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos

TIC – Fabricação de equipamentos informáticos, equipamentos para comunicação, produtos eletrônicos e óticos

Elet – Fabricação de equipamento elétrico

Maq – Fabricação de máquinas e equipamentos, não especificados

MTran – Fabricação de material de transporte

RepMan – Indústrias transformadoras não especificadas; reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos

Trans – Transportes e armazenagem

Verifica-se neste quadro que a produtividade aparente do trabalho quase duplicou nas últimas duas décadas (de índice 100 passou para 196 entre 1995 e 2014). Esse aumento foi o mais acentuado no setor da indústria de refinação (quadruplicou nesse período), no de fabricação de material de transporte (triplicou), e nos de fabricação de máquinas e ferramentas e da indústria alimentar. Em todos estes casos tem-se verificado um aumento da automatização da produção, e já iremos relacionar estes fenómenos com outros indicadores.

Verifica-se que apenas o setor de fabricação de equipamentos informáticos manteve o mesmo nível de produtividade, embora

tivesse assistido a um aumento entre 1995 e 2007, e desde então tem vindo a decrescer, voltando ao mesmo valor que já tinha no início desta série cronológica. O setor de fabricação de material de transporte, sobretudo assente na produção automóvel, praticamente triplicou o valor deste rácio, apesar de uma ligeira quebra de 2007 a 2009. Tem sido neste setor que maior número de robôs tem sido introduzido, e é um setor com forte vocação exportadora. Em euros a evolução é semelhante, mas não igual, pois o ponto de partida é diferente de setor para setor. Senão vejamos o Quadro 13.

De acordo com este quadro relativo aos dados do INE sobre a produtividade aparente do trabalho, podemos verificar um aumento constante nas últimas duas décadas. Verificou-se apenas uma alteração no setor da fabricação de produtos eletrónicos, em grande parte devido ao fecho de algumas empresas relevantes que contribuíram para essas alterações. Em quase todos os outros setores isso não se verificou. Assim, teremos de atribuir este aumento da produtividade aparente do trabalho a fatores externos ao investimento tecnológico apenas. Certamente, outros fatores contribuíram, particularmente os que dizem respeito a melhorias nos processos de produção e mesmo devido à melhoria da qualificação do trabalho. Mas o aprofundamento deste estudo deveria permitir retirar conclusões mais precisas.

Um dos argumentos utilizados para justificar o investimento em sistemas automatizados diz respeito à necessidade de orientar a atividade produtiva para uma melhor eficiência dos custos operacionais envolvidos. Neste sentido o equipamento que implica maior investimento deverá conseguir maior resultado produtivo (maior quantidade de produtos elaborados por unidade de tempo, ou menor quantidade de material desperdiçado ou menos energia por unidade produzida) do que com os equipamentos existentes. Assume-se, neste caso, que não existe alteração no número ou qualificação dos trabalhadores envolvidos na produção dessas unidades.

### Quadro 13

#### Produtividade aparente do trabalho: total e por ramo de atividade

Anos	Total	Ali	Vest/Cal	Mad/Pap	Quim	Farm	Plast
1995	18 176,97	13 823,52	9 446,11	18 950,96	39 621,88	39 943,85	20 043,15
2000	23 142,62	20 071,00	10 623,54	25 647,79	41 428,41	44 979,57	25 289,60
2005	28 498,18	28 182,04	12 280,19	27 213,13	49 855,68	64 315,81	28 245,68
2010	34 087,98	32 384,68	16 546,74	36 157,61	61 138,20	72 693,39	35 439,43
2015	36 242,57	36 682,84	18 934,12	38 816,89	74 277,43	82 008,93	38 591,88

Anos	Metal	TIC	Elet	Maq	MTran	RepMan	Trans
1995	15 072,67	40 217,01	19 302,89	14 900,29	12 946,96	11 515,72	22 455,65
2000	18 240,00	51 558,94	24 117,17	23 303,64	26 481,51	14 857,20	31 028,18
2005	21 854,43	55 677,80	32 952,82	26 313,83	28 435,17	17 161,64	34 443,42
2010	25 615,86	59 797,61	40 158,27	33 394,09	34 980,71	22 447,40	43 862,26
2015	26 826,45	41 362,59	33 633,60	38 215,77	37 159,81	24 099,31	47 085,53

Fontes de Dados: INE – Contas Nacionais Anuais (Base 2011), PORDATA (última atualização: 2017-09-25)

Ali – Indústrias alimentares, das bebidas e do tabaco  
 Vest/Cal – Indústria têxtil, do vestuário, do couro e dos produtos de couro  
 Mad/Pap – Indústria da madeira, pasta, papel e cartão e seus artigos e impressões  
 Quim – Fabricação de produtos químicos e de fibras sintéticas e artificiais  
 Farma – Fabricação de produtos farmacêuticos de base e de preparações farmacêuticas  
 Plast – Fabricação de artigos de borracha, de matérias plásticas e de outros produtos minerais não metálicos  
 Metal – Indústrias metalúrgicas de base e fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos

TIC – Fabricação de equipamentos informáticos, equipamentos para comunicação, produtos eletrônicos e óticos  
 Elet – Fabricação de equipamento elétrico  
 Maq – Fabricação de máquinas e equipamentos, não especificados  
 MTran – Fabricação de material de transporte  
 RepMan – Indústrias transformadoras não especificadas; reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos  
 Trans – Transportes e armazenagem

Sendo assim, apesar de um custo inicial elevado, os sistemas automatizados e, em particular, os robôs podem representar uma diminuição de custos considerando unidades comparáveis de tempo. A discussão sobre estes princípios pode ser seguida no estudo de Kromann, Skaksen e Sorensen da Copenhagen Business School (Kromann, Skaksen e Sorensen, 2010: 3-11). No entanto, apesar dessa tendência para a diminuição dos custos da

tecnologia, a relação que ela pode ter na produtividade é ainda motivo de controvérsia.

Outro argumento que justifica esse investimento é o do aumento do custo do trabalho humano. Os processos de inovação organizacional que tiveram lugar na Escandinávia nos anos de 1960 e 1970 foram devidos a dois tipos de razão: 1) no pós-guerra, a população mais jovem que entrava no mercado de trabalho tinha mais escolaridade. Por conseguinte, as exigências sobre a necessidade de alteração do conteúdo de trabalho foram maiores. E nessa altura, essas exigências foram paralelas às de aumento salarial e diminuição do número de horas de trabalho semanal; 2) os níveis de produtividade e de qualidade deveriam aumentar de modo a manter sustentável o modelo económico das políticas social-democratas. Sendo os custos do trabalho crescentes e com a necessidade de se manter ou aumentar os níveis de produtividade, estabeleceram-se acordos sociais entre os diversos parceiros. Os empresários e as grandes empresas públicas encontraram soluções para este problema com um aumento de investimento em tecnologia e no desenvolvimento organizacional.

Assim, para compreendermos se existiu ou existe uma pressão no sentido desse investimento em Portugal, procuramos verificar a evolução dos custos de trabalho, pois o aumento da escolaridade da população ativa aumentou nos últimos anos, como se referiu na nossa “introdução”. O quadro seguinte apresenta essa evolução no total e por setor de atividade na indústria transformadora.

**Quadro 14**  
**Custo de trabalho por unidade produzida:**  
**total e por ramo de atividade (PORDATA)**

Anos	Ramo de atividade														
	Total	Ali	Vest/ Cal	Mad/ Pap	Petr	Quim	Farm	Plast	Metal	TIC	Elet	Maq	MTran	Rep Man	Trans
1995	0,24	0,11	0,22	0,15	0,05	0,14	0,22	0,19	0,21	0,13	0,21	0,19	0,14	0,27	0,30
2000	0,25	0,12	0,23	0,16	0,02	0,13	0,22	0,19	0,22	0,12	0,22	0,17	0,13	0,27	0,28
2005	0,26	0,12	0,25	0,17	0,02	0,12	0,19	0,19	0,19	0,11	0,21	0,17	0,15	0,26	0,25
2010	0,26	0,12	0,24	0,16	0,02	0,09	0,19	0,18	0,20	0,13	0,14	0,17	0,12	0,25	0,23
2015	0,25	0,10	0,22	0,13	0,02	0,08	0,17	0,16	0,19	0,16	0,16	0,18	0,11	0,25	0,21

Fontes de Dados: INE – Contas Nacionais Anuais (Base 2011)

Fonte: PORDATA (última atualização: 2017-09-25)

Ali – Indústrias alimentares, das bebidas e do tabaco  
Vest/Cal – Indústria têxtil, do vestuário, do couro e dos produtos de couro

Mad/Pap – Indústria da madeira, pasta, papel e cartão e seus artigos e impressão

Petr – Fabricação de coque e de produtos petrolíferos refinados

Quim – Fabricação de produtos químicos e de fibras sintéticas e artificiais

Farma – Fabricação de produtos farmacêuticos de base e de preparações farmacêuticas

Plast – Fabricação de artigos de borracha, de matérias plásticas e de outros produtos minerais não metálicos

Metal – Indústrias metalúrgicas de base e fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos

TIC – Fabricação de equipamentos informáticos, equipamentos para comunicação, produtos eletrônicos e óticos

Elet – Fabricação de equipamento elétrico

Maq – Fabricação de máquinas e equipamentos, não especificados

MTran – Fabricação de material de transporte

RepMan – Indústrias transformadoras não especificadas; reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos

Trans – Transportes e armazenagem

Como se pode verificar neste quadro, o valor do rácio para o custo de trabalho por unidade produzida tem-se mantido nas últimas décadas. Há mesmo uma ligeira tendência para a sua diminuição nos últimos anos. Apenas se verifica um pequeno aumento para o setor de fabricação de equipamentos informáticos e de comunicação (de 0,13 em 1995 passou para 0,18 em 2014). Em todos os outros há algumas descidas, sobretudo no setor de fabricação de material de transporte (de 0,14 passou para 0,11 no mesmo período), na fabricação de equipamento elétrico (de 0,21 para 0,16) e no de fabricação de produtos químicos (de 0,14 para 0,08).

Com este tipo de tendência, podemos concluir que não tem havido qualquer pressão para um aumento do investimento em tecnologias que recorram a menor participação de mão de obra.

No Quadro 14 verifica-se melhor que o subsetor de “Indústrias transformadoras, não especificadas; reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos” (RepMan) é o que tem custos mais elevados. O setor têxtil e vestuário encontra-se em segundo lugar. Curioso é também verificar que, se a produtividade do trabalho no setor petrolífero (refinação) é o mais alto no âmbito das indústrias transformadora, o seu custo do trabalho é o mais baixo. Através destes exemplos podemos indicar que a produtividade é sobretudo alcançada pelo custo do trabalho e não pela formação bruta de capital, ou investimento em tecnologia.

Por sua vez, a taxa de investimento é um indicador do esforço realizado por uma empresa para aumentar a sua capacidade de produção. Por exemplo, o facto de uma empresa apresentar uma taxa de investimento de 20% revela que um quinto da riqueza que gerou a produzir bens ou serviços foi aplicado na aquisição de máquinas e de outros equipamentos para a empresa. Mede a relação entre a formação bruta de capital fixo e o valor acrescentado bruto<sup>11</sup>.

As taxas de investimento aumentaram de modo significativo em quase todos os setores da indústria transformadora. As exceções encontram-se nos setores de fabricação de material de transporte (de 37,7% em 1995<sup>12</sup>, tem vindo a baixar até aos 26,5% em 2014<sup>13</sup>).

---

<sup>11</sup> Metainformação fornecida pela PORDATA e Augusto Mateus & Associados.

<sup>12</sup> Que corresponde aproximadamente ao início da produção da Volkswagen na fábrica da Autoeuropa.

<sup>13</sup> Apenas se notou uma exceção em 2010 com uma taxa de investimento de 38%. Estas variações correspondem a fases de lançamentos de novos modelos que, no seu arranque, exigem maiores investimentos em tecnologia.

**Quadro 15**  
**Relação entre a formação bruta de capital fixo**  
**e o valor acrescentado bruto (taxa de investimento)**

Anos	Ramo de atividade													
	Total	Ali	Vest/ Cal	Mad/ Pap	Quim	Farm	Plast	Metal	TIC	Elet	Maq	MTran	Re- pMan	
1995	26,4	12,8	7,7	8,1	9,7	10,2	17,2	11,1	27,0	14,0	41,2	37,7	12,3	
2000	31,9	19,0	12,7	19,5	22,7	37,5	27,9	22,0	30,1	17,3	45,4	20,7	22,6	
2005	26,6	18,1	6,8	16,6	17,0	41,3	25,3	19,3	36,1	16,5	36,8	27,6	16,8	
2010	23,3	19,7	6,3	15,8	28,6	33,2	19,0	15,5	23,3	24,4	18,8	38,0	15,7	
2015	17,8	19,1	9,6	20,8	18,2	38,1	23,3	22,0	33,8	23,0	19,1	31,4	15,9	

Fontes de Dados: INE – Contas Nacionais Anuais (Base 2011)

Fonte: PORDATA (última atualização: 2017-09-25)

Ali – Indústrias alimentares, das bebidas e do tabaco

Vest/Cal – Indústria têxtil, do vestuário, do couro e dos produtos de couro

Mad/Pap – Indústria da madeira, pasta, papel e cartão e seus artigos e impressão

Quim – Fabricação de produtos químicos e de fibras sintéticas e artificiais

Farma – Fabricação de produtos farmacêuticos de base e de preparações farmacêuticas

Plast – Fabricação de artigos de borracha, de matérias plásticas e de outros produtos minerais não metálicos

Metal – Indústrias metalúrgicas de base e fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos

TIC – Fabricação de equipamentos informáticos, equipamentos para comunicação, produtos eletrónicos e óticos

Elet – Fabricação de equipamento elétrico

Maq – Fabricação de máquinas e equipamentos, não especificados

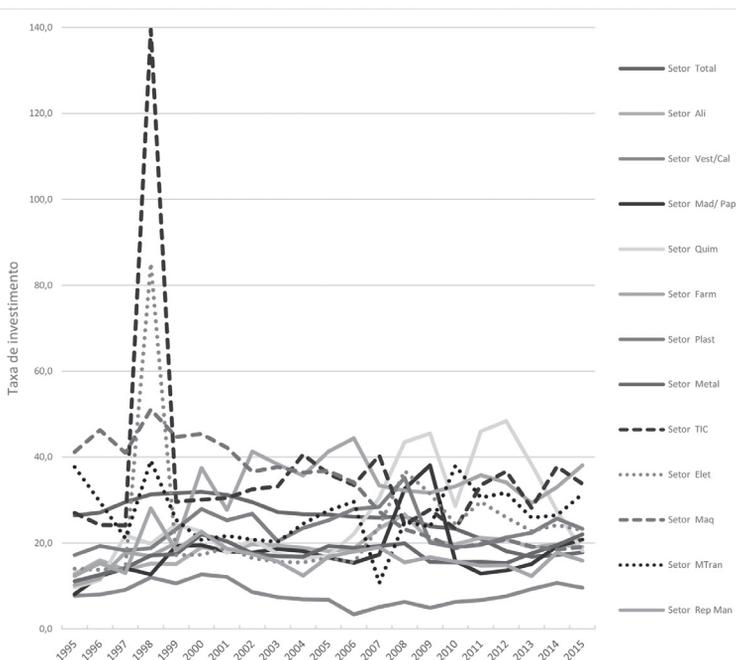
MTran – Fabricação de material de transporte

RepMan – Indústrias transformadoras não especificadas; reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos

Excluímos de novo os dados do subsetor de refinação de petróleo por ter elevados investimentos em alguns períodos excepcionais e por isso prejudicarem uma observação relevante para toda a indústria transformadora. Ainda assim, os dados apresentados em forma de gráfico podem esclarecer melhor estas tendências dos últimos anos.



**Gráfico 1**  
**Taxa de investimento: total e por ramo de atividade**  
**(indústria transformadora)**



Fontes de Dados: INE – Contas Nacionais Anuais (Base 2011)

Ali – Indústrias alimentares, das bebidas e do tabaco  
 Vest/Cal – Indústria têxtil, do vestuário, do couro e dos produtos de couro  
 Mad/Pap – Indústria da madeira, pasta, papel e cartão e seus artigos e impressão  
 Quim – Fabricação de produtos químicos e de fibras sintéticas e artificiais  
 Farma – Fabricação de produtos farmacêuticos de base e de preparações farmacêuticas  
 Plast – Fabricação de artigos de borracha, de matérias plásticas e de outros produtos mineiros não metálicos

Metal – Indústrias metalúrgicas de base e fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos  
 TIC – Fabricação de equipamentos informáticos, equipamentos para comunicação, produtos eletrônicos e óticos  
 Elet – Fabricação de equipamento elétrico  
 Maq – Fabricação de máquinas e equipamentos, não especificados  
 MTran – Fabricação de material de transporte  
 RepMan – Indústrias transformadoras não especificadas; reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos



Pode observar-se um período de investimento muito elevado em 1998 nos subsetores de “Fabricação de equipamentos informáticos, equipamentos para comunicação, produtos eletrónicos e óticos” e de “Fabricação de equipamento elétrico”. De todos os modos, o investimento médio de todo o setor chegou a ser cerca de 32% em 2009 e decaiu para cerca de 17% nos últimos anos. Apenas se destacaram positivamente os subsetores químico (27,5%), farmacêutico (33%), produtos eletrónicos e informáticos (37,8%) e material de transporte (26,5%).

Finalmente, podemos considerar o grau de transformação da produção que é um indicador da capacidade de gerar riqueza a produzir bens ou serviços. Por exemplo, o facto de uma empresa apresentar um grau de transformação de apenas 0,1 revela que só 10% do valor do produto é que foi gerado pela própria empresa e que 90% do valor do produto corresponde afinal a bens e serviços comprados a fornecedores. Mede o peso relativo do valor acrescentado por unidade produzida<sup>14</sup>.

No quadro seguinte verificamos que o grau de transformação da produção medido pela incorporação de valor acrescentado por unidade produzida é relativamente baixo em todos os setores. É particularmente baixo no setor petrolífero (com um rácio de 0,05 em 1995 e 20 anos depois com 0,02) e no de fabricação de material de transporte (com 0,13 em 1995 e ainda 0,19 em 2014). Os valores mais altos encontram-se na indústria farmacêutica (com um rácio geralmente acima de 0,40), nas indústrias transformadoras não especificadas (com cerca de 0,40) e na indústria têxtil e vestuário (com cerca 0,37).

---

<sup>14</sup> Metainformação da PORDATA e Augusto Mateus & Associados.

**Quadro 16**  
**Grau de transformação da produção:**  
**total e por ramo de atividade**

Anos	Ramo de actividade														
	Total	Ali	Vest/ Cal	Mad/ Pap	Petr	Quim	Farm	Plast	Metal	TIC	Elet	Maq	MTran	Rep- Man	
1995	0,46	0,16	0,33	0,33	0,05	0,30	0,43	0,38	0,32	0,26	0,35	0,27	0,13	0,39	
2000	0,46	0,21	0,33	0,34	0,06	0,24	0,39	0,38	0,31	0,27	0,36	0,28	0,21	0,39	
2005	0,47	0,24	0,35	0,33	0,10	0,22	0,41	0,34	0,29	0,24	0,36	0,26	0,21	0,39	
2010	0,48	0,24	0,39	0,33	0,06	0,19	0,38	0,34	0,30	0,30	0,26	0,30	0,20	0,39	
2015	0,49	0,24	0,38	0,28	0,08	0,20	0,43	0,33	0,28	0,25	0,23	0,34	0,17	0,40	

Fontes de Dados: INE – Contas Nacionais Anuais (Base 2011)

Fonte: PORDATA (última actualização: 2017-09-25)

Ali – Indústrias alimentares, das bebidas e do tabaco  
Vest/Cal – Indústria têxtil, do vestuário, do couro e dos produtos de couro

Mad/Pap – Indústria da madeira, pasta, papel e cartão e seus artigos e impressão

Petr – Fabricação de coque e de produtos petrolíferos refinados

Quim – Fabricação de produtos químicos e de fibras sintéticas e artificiais

Farma – Fabricação de produtos farmacêuticos de base e de preparações farmacêuticas

Plast – Fabricação de artigos de borracha, de matérias plásticas e de outros produtos minerais não metálicos

Metal – Indústrias metalúrgicas de base e fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos

TIC – Fabricação de equipamentos informáticos, equipamentos para comunicação, produtos eletrónicos e óticos

Elet – Fabricação de equipamento elétrico

Maq – Fabricação de máquinas e equipamentos, não especificados

MTran – Fabricação de material de transporte

RepMan – Indústrias transformadoras não especificadas; reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos

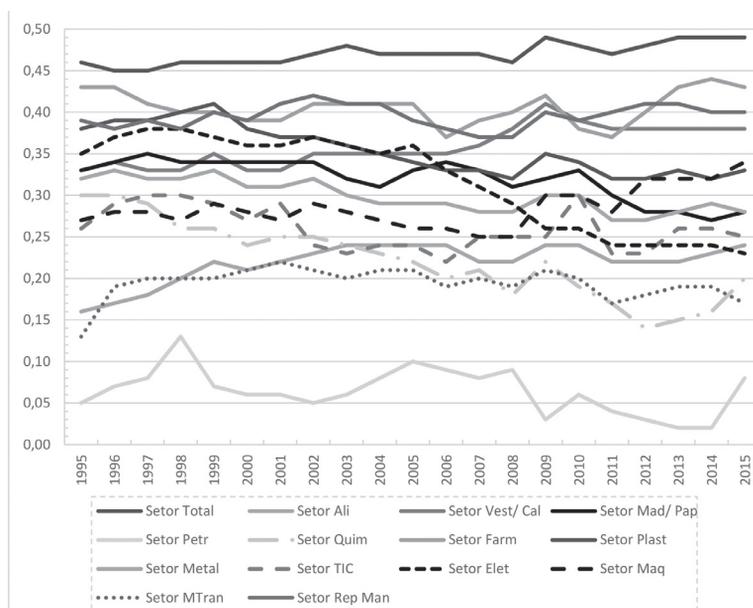
A este propósito, o chamado “paradoxo de Solow” é baseado num comentário que este conhecido economista norte-americano<sup>15</sup> fez acerca dos computadores e da era digital. Ele refere no seu artigo no *1987 New York Times Book Review* o seguinte: “o que toda a gente sente ter sido uma revolução tecnológica, uma

<sup>15</sup> Robert Solow (1924), professor emérito de Economia no MIT ([https://en.wikipedia.org/wiki/Robert\\_Solow](https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Solow)), orientador de Stiglitz, entre outros, obteve o prémio Bank of Sweden Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel em 1987 e a Medalha Presidencial da Liberdade dos EUA em 2014. Mais informação em <https://ideas.repec.org/e/pso18.html>.

mudança drástica nas nossas vidas produtivas, tem sido acompanhado em todos os lugares, incluindo o Japão, por um abrandar no crescimento da produtividade, não por um passo mais à frente. Pode-se ver a era digital por todo o lado menos nas estatísticas da produtividade”. De facto, e de acordo com Acemoglu e colegas, “achamos, inesperadamente, que as ‘resoluções’ anteriores do paradoxo de Solow podem negligenciar certos aspetos paradoxais da produtividade associada à TI, pelo menos na fabricação” (Acemoglu *et al.* 2014: 1). Com efeito, eles dizem ainda que “a evidência de um crescimento da produtividade mais rápido nas indústrias com uso intensivo de TIC é um pouco misturada e depende da medida da intensidade de TI utilizada”. Mas esta medida não temos em relação a Portugal. Mas pelo menos é claro que o grau de transformação da produção no setor da indústria de TIC em Portugal não teve significativa alteração nas últimas décadas. Em termos de gráfico a informação pode ser analisada a partir do gráfico da página seguinte.

Com este gráfico verificamos mais claramente que alguns setores têm vindo a aumentar o seu valor acrescentado incorporado, como, por exemplo, a indústria alimentar, a fabricação de máquinas e equipamentos e a fabricação de material de transporte (indústria automóvel). São também setores que têm forte incorporação de robôs entre o seu equipamento produtivo. Destaca-se neste gráfico a posição da indústria petrolífera por ser o setor com menor incorporação de valor acrescentado com apenas 2% por unidade produzida. E pode sublinhar-se a importância na década de 1990 da indústria farmacêutica, da indústria transformadora não especificada (reparação, manutenção e instalação) e da indústria de borracha e plásticos por serem aqueles com maior incorporação de valor acrescentado. Nos últimos anos (com referência para 2014) a indústria têxtil e vestuário e a fabricação de máquinas e equipamentos também passaram a ter destaque similar aos referidos anteriormente.

**Gráfico 2**  
**Grau de transformação da produção:**  
**total e por ramo de atividade (indústria transformadora)**



Fontes de Dados: INE – Contas Nacionais Anuais (Base 2011)

Fonte: PORDATA (última atualização: 2017-09-25)

Ali – Indústrias alimentares, das bebidas e do tabaco  
 Vest/Cal – Indústria têxtil, do vestuário, do couro e dos produtos de couro

Mad/Pap – Indústria da madeira, pasta, papel e cartão e seus artigos e impressão

Petr – Fabricação de coque e de produtos petrolíferos refinados

Quim – Fabricação de produtos químicos e de fibras sintéticas e artificiais

Farma – Fabricação de produtos farmacêuticos de base e de preparações farmacêuticas

Plast – Fabricação de artigos de borracha, de matérias plásticas e de outros produtos minerais não metálicos

Metal – Indústrias metalúrgicas de base e fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos

TIC – Fabricação de equipamentos informáticos, equipamentos para comunicação, produtos eletrônicos e óticos

Elet – Fabricação de equipamento elétrico

Maq – Fabricação de máquinas e equipamentos, não especificados

MTran – Fabricação de material de transporte

RepMan – Indústrias transformadoras não especificadas; reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos

Assim, se para uma análise da evolução da produtividade apenas pudéssemos considerar o número de horas trabalhadas, não se teria uma noção precisa sobre como é que estes setores se tornaram mais produtivos. Isto acontece porque, para além do fator trabalho na produção, outros fatores também contribuem para o aumento da produtividade, como os bens de capital (ou a formação bruta de capital fixo e a taxa de investimento), e ainda outros *inputs* como as matérias-primas, e a disponibilidade dos recursos naturais. Todavia, as mudanças na tecnologia desempenham também um fator central. Por conseguinte, o trabalho desempenha também um fator cada vez mais significativo devido ao aumento do nível médio de escolaridade e pelo aumento da formação, aumentando deste modo a capacidade e a competência nos postos de trabalho. Por outro lado, os bens de capital podem também, em resposta ao desenvolvimento da tecnologia e à inovação, serem substituídos por outros mais novos, com versões de maior capacidade e mais produtivas (conhecido como aprofundamento do capital).

Podemos assim concluir que:

- nos setores de baixa intensidade tecnológica (com baixa formação bruta de capital fixo, pouco orientados para a exportação e pouco investimento em I&D) que têm, simultaneamente, uma mão de obra relativamente barata, é muito difícil automatizar a produção
- quanto maior for a intensidade tecnológica menor será o volume de emprego em relação ao valor acrescentado bruto e maior a intensidade do capital. Como resultado, a propensão para uma produtividade mais elevada que os restantes setores é uma característica importante. Além disso, haverá um maior incentivo à automatização.
- Em geral, estas duas situações permitem explicar uma terceira, ou seja, a introdução de robôs na indústria transformadora tenderá a ser lenta e apenas direcionada para setores

particulares. Não parece haver uma tendência de disseminação da robótica e da automatização em todos os setores produtivos em Portugal. Nem parece ainda que essa tendência se altere significativamente nos próximos anos.

É interessante retomarmos a controvérsia em torno do chamado “paradoxo de Solow”, referindo o comentário conclusivo do trabalho já referenciado de Acemoglu, Autor e outros colegas, quando dizem que “é difícil enquadrar os declínios de produção com a noção de que a informatização e as TIC incorporadas em novos equipamentos estão a gerar uma revolução da produtividade, pelo menos na indústria norte-americana. Pode ser que as mudanças tecnológicas induzidas pela TI estejam a transformar os setores não-industriais, ou que sejam tão generalizadas que podem estar a tomar lugar nas indústrias não-intensivas em TI. Mas pelo menos, a nossa evidência sugere que as resoluções previamente propostas do paradoxo de Solow precisam ser examinadas criticamente, e que as proposições da descontinuidade da tecnologia necessitam dar maior evidência direta da transformação da economia norte-americana induzidas pela TI. Declarações anteriores da ‘morte’ do paradoxo de Solow podem ter sido prematuras” (Acemoglu *et al.*, 2014: 6-7). Poderíamos então perguntar se este paradoxo se faz sentir também em Portugal. Provavelmente, pelos dados que aqui apresentamos, não parece existir uma evidência do impacto das TIC na economia portuguesa, ainda que possa existir uma maior incorporação de TI nos equipamentos que, entretanto, têm vindo a ser adquiridos na indústria. Além disso, é também evidente a necessidade em estabelecermos uma distinção entre a produção de equipamentos com TIC incorporadas e a utilização desses equipamentos. Em todo o caso, mais estudos sobre esta questão deveriam ser realizados em Portugal.

### 3.4. Tendências recentes e potenciais impactos no emprego

Os potenciais efeitos no emprego derivados do desenvolvimento de tecnologia é um tema que, apesar de debatido (Acemoglu e Restrepo, 2017; Arntz, Gregory e Zierahn, 2016; Brynjolfsson e McAfee, 2011; Fernández-Macías, 2017; Frey e Osborne, 2013; Gorle e Clive, 2011; IFR, 2017; Manyika *et al.*, 2017; McKinsey Global Institute, 2017; Van Est e Kools, 2015; entre tantos outros), requer ainda muita investigação empírica para se poder comprovar verdadeiramente alguma relação clara entre as variáveis centrais.

Por exemplo, se utilizarmos os dados simples relativos à evolução do número de empresas e da produtividade, podemos verificar que as duas variáveis parecem estar correlacionadas. Se houvesse apenas uma dependência do investimento em tecnologia esta correlação não se faria sentir, pois o investimento total em equipamento e na formação bruta de capital fixo, como já vimos mais atrás, está sobretudo dependente de ciclos económicos ou de contextos dependentes também das variáveis políticas associadas a apoios a investimento. Mas não dependem da quantidade de empresas.

Assim, a evolução do número de empresas tem uma relação forte sobre a evolução do emprego, embora a variação na demografia empresarial esteja mais associada a empresas com menos assalariados ou trabalhadores dependentes. As maiores empresas (em número de trabalhadores dependentes) não são criadas ou encerradas com os mesmos ciclos das mais pequenas. Por conseguinte, é provável que a variação da produtividade não acompanhe na mesma proporção a variação no volume de emprego. Inclusivamente a diminuição no volume de emprego poderá implicar um aumento da produtividade, mantendo-se o mesmo volume de vendas por empresa.

No relatório da McKinsey intitulado “A future that works: Automation, employment, and productivity” (McKinsey Global Institute, 2017), refere-se que “a automação poderia acelerar a produtividade da economia global entre 0,8 e 1,4% do PIB global anualmente, presumindo que o trabalho humano substituído pela automação se reúne à força de trabalho e é tão produtivo quanto em 2014” (p. 15). A automação em si mesma não vai ser suficiente para alcançar as aspirações de crescimento económico a longo prazo em todo o mundo. Segundo o mesmo relatório da McKinsey, para isso, vão ser necessárias medidas adicionais de aumento da produtividade, incluindo a reformulação dos processos de negócios ou o desenvolvimento de novos produtos e serviços. Neste interessante relatório afirma-se ainda que a reafetação do trabalho daqueles que foram excluídos pela tecnologia a novos empregos será um dos desafios sociais mais importantes. “Os governos geralmente não são particularmente capazes de antecipar os tipos de empregos que poderiam ser criados, ou novas indústrias que se irão desenvolver. No entanto, eles poderiam iniciar e promover diálogos sobre o que o trabalho precisa de fazer e sobre os grandes desafios sociais que exigem mais atenção e esforço” (McKinsey Global Institute, 2017: 18).

Esta introdução serve para referir que as variáveis que ajudam a explicar as variações no emprego derivadas do investimento e desenvolvimento da tecnologia não são muito óbvias, e essas relações são difíceis de encontrar. Iremos, por isso, abordar os temas associados ao debate sobre a relação entre tecnologia e emprego e, em particular, no que diz respeito à robótica.

#### 3.4.1. Os princípios do determinismo tecnológico

O determinismo tecnológico postula que a tecnologia determina os efeitos, positivos ou negativos, que ela induz na sociedade. Este é o princípio geral que todos os autores que analisam a relação entre tecnologia e sociedade tomam como ponto de

referência. Mas podem ser ainda mencionadas diversas variantes. Uma parte importante do debate retoma as referências bibliográficas de Marx. No entanto, o próprio Marx é ambivalente acerca desta questão. Se, por um lado, no seu texto sobre *Miséria da Filosofia* (1847) descreve o desenvolvimento da tecnologia (moinhos de vento e a vapor) como determinantes dos modelos da sociedade capitalista ao implicar o aprofundamento da divisão do trabalho, por outro lado, Marx considerava também que a tecnologia é fruto das relações sociais. De qualquer modo, o desenvolvimento das “forças produtivas” (ou da tecnologia) determinam então a organização da economia. Apenas mais tarde, com o *Capital*, Marx desenvolve o princípio do primado das relações sociais que dão forma à técnica.

Para Veblen, a tecnologia obriga os trabalhadores a adaptarem-se a formas de trabalho, em vez de adaptarem o trabalho aos trabalhadores (Veblen, 1904: 310). Ou seja, a mecanização gera culturas mecânicas e experiências rotinizadas onde os indicadores de pressão, temperatura, velocidade, etc., são determinantes, e não permite conclusões acerca do bem ou do mal, do mérito ou do demérito. Esse é, por conseguinte, o espírito do capitalismo baseado no individualismo e na propriedade privada. Esta visão implica uma relação determinística entre a sociedade e a tecnologia: a sociedade é, portanto, um espelho da tecnologia.

O sociólogo belga Vallenduc refere, de acordo com a perspectiva do filósofo Jacques Ellul (Ellul, 1990), que a tecnologia pode ser “considerada como um sistema autónomo, que se desenvolve seguindo a sua lógica própria e influencia o seu ambiente de modo perentório. Esta dinâmica intrínseca da tecnologia impõe-se à sociedade. A organização social é determinada e modelada pela tecnologia” (Vallenduc, s/d: 5). Essa é uma perspectiva muito próxima da de L. Winner, que, em 1977, já referia o termo “tecnologia autónoma”, mas para referir que a política dá a aparência de neutralidade à tecnologia, embora exista uma situação preestabelecida (imperativo tecnológico) que nos faz

pensar que assumimos escolhas, quando apenas respondemos a esse imperativo. Ellul foi de facto um dos principais teóricos do determinismo tecnológico de meados do século XX. A literatura oferecia também propostas nesse sentido, como os livros *Admirável Mundo Novo* de Aldous Huxley e *1984* de George Orwell.

Mas esta influência da tecnologia pode ter outras variantes. Por exemplo, quando existem escolhas sobre a adoção de alguma(s) tecnologia(s), pode tornar-se difícil intervir sobre as suas consequências. Não se considera um determinismo no sentido clássico, mas existe o reconhecimento de uma influência da tecnologia sobre a sociedade.

Harry Braverman afirmou no seu livro sobre o trabalho e o capital monopolista (Braverman, 1974) que “a redução do trabalhador para o nível de um instrumento no processo de produção está, sem dúvida, exclusivamente associado à maquinaria” (Braverman, 1974: 172). Já no início dos anos de 1970 se referia a exemplos de novas tecnologias, como as “máquinas de função múltipla” que se aproximavam às máquinas de comando numérico. Ele falava então de uma nova característica da maquinaria: o padrão do seu funcionamento é fixado no mecanismo e não tem ligação a controlos externos ou aos seus resultados de trabalho. Referia-se então a movimentos automáticos ou predeterminados da maquinaria (Braverman, 1974: 189). Neste sentido, podemos então falar de uma relação determinista da tecnologia sobre a sociedade, ou seja, os sistemas automatizados da maquinaria tornavam os seus operadores instrumentos dependentes do processo de produção.

O passo seguinte seria o controlo externo a partir da informação fornecida diretamente ao mecanismo de trabalho. Com o fornecimento de tapetes rolantes para as linhas de produção, é possível então associar diferentes máquinas produzindo sequências de operações automáticas, como era o caso nessa altura das máquinas-*transfer* aplicadas sobretudo na indústria automóvel. Esta tecnologia criou uma dependência dos postos de trabalho

e das tarefas a uma relação sequencial predeterminada. Além disso, os tapetes rolantes ou sistemas de transporte de peças obrigaram a uma dependência da execução da tarefa à velocidade desses equipamentos. Do mesmo modo, quando se introduzem máquinas automatizadas nessas linhas de produção, as tarefas executadas por humanos também se mantêm dependentes dessa velocidade.

Se a velocidade e o sequenciamento podem ser alterados pela informação externa que induz um controlo autónomo, então poderá existir uma maior autonomia do trabalho humano. “Poderá” é um termo importante, porque essa autonomia depende então da possibilidade de influenciar o sistema de controlo. Por conseguinte, em sistemas de trabalho onde a sequência de operações é predeterminada, mesmo que estejamos perante robôs e máquinas de comando numérico, a determinação mantém-se. Assim, e neste caso, o determinismo reside não na tecnologia associada às máquinas, mas sim no conceito que define o sistema de produção que obriga ao sequenciamento predeterminado de operações.

Este processo foi-se desenvolvendo e foi sendo aplicado com diversos conceitos de gestão da produção. Womack e Jones referem no seu estudo sobre “*lean management*” que “muitas empresas focaram-se em cada vez mais máquinas de alta velocidade agrupadas em processos semelhantes, eventualmente ligadas por MRP<sup>16</sup>, ou linhas elaboradas, de transferência automatizada e de montagem ligando dezenas de passos de fabricação e empregando cada vez mais a robótica para eliminar o esforço humano” (Womack e Jones, 1996: 232). Este processo induziu uma produção em massa recorrendo a tecnologias muito sofisticadas.

---

<sup>16</sup> MRP – Manufacturing Resource Planning, ou planeamento de recursos de fabricação, é um conceito de gestão de produção que considera novas modalidades de utilização mais racional e programada dos elementos (ou recursos) necessários à produção.

Contudo, estes métodos e abordagens de produção adequavam-se melhor à produção massificada de produtos normalizados, sobretudo para exportação. Mas este tipo de produção começou a ser menos utilizado pela indústria nos países mais desenvolvidos logo nos anos de 1990.

Como Hoss referia a propósito da nova relação entre as novas TIC e a inovação organizacional, podemos estar perante um outro tipo de determinismo tecnológico, embora de impacto positivo. Refere ele que “se bem que a mudança tecnológica proporciona um ímpeto poderoso à reorganização do processo de trabalho, ela depende, de modo decisivo, das condições socioeconómicas nacionais, regionais e industriais concretas, tal como a nova estrutura específica resultante destas tendências de desintegração e reintegração, e o novo modelo de domínio ou compromisso em relação ao controlo sobre o processo de produção. Isto não é mais do que um novo ‘determinismo tecnológico’” (Hoss, 1992: 72).

A este propósito, o acima referido estudo de Womack e Jones refere a experiência japonesa da Toyota quando descreve um caso de uma empresa que utilizou o conceito de organização da produção TPS<sup>17</sup>. Tratava-se de uma “empresa tecnicamente avançada onde uma corrida decorreu entre o *yen* crescente e a eliminação do esforço humano dispendioso. As áreas de processamento de moldagem, corte e pintura de componentes para os produtos complexos da fábrica eram completamente automatizadas, com robôs colocando corretamente os componentes vindos de vários passos de fabricação em paletes levadas por veículos autoguiados para um armazém automático e centro de recuperação. Daí, componentes da fábrica e outros vindos de fornecedores eram tomados automaticamente para uma linha de montagem final completamente automatizada que podia ajustar instantaneamente as fixações de modo a segurar qualquer um

---

<sup>17</sup> TPS – Toyota Production System.

da centena de modelos do produto básico e montar sozinha com os esforços de robôs manipuladores. (A fábrica ainda emprega 3600 trabalhadores, mas *nenhum* envolvido em trabalho direto)” (Womack e Jones, 1996: 243).

Esta descrição é muito interessante porque nos mostra um processo quase completamente automatizado onde os operadores foram deslocados do trabalho direto. E os autores ainda acrescentam que a empresa queria passar a utilizar fornecedores de primeira linha da China com custos de trabalho de fabricação dos subcomponentes muito mais baixos. Por conseguinte, este processo de automatização crescente também induziu novas orientações na gestão das cadeias de valor, de modo a poderem aumentar a sua competitividade através da deslocalização dos fornecedores para países com outros modelos de gestão dos recursos humanos. Estas alterações mais recentes também se devem a uma influência direta do aumento da capacidade competitiva derivada da automatização e da robotização que facilitou o recurso a outros modelos de gestão de custos de trabalho.

### 3.4.2. A crítica ao determinismo e as opções organizacionais

Uma diferente visão sobre a relação da tecnologia sobre a sociedade rejeita esse efeito determinístico. De acordo com ela, a tecnologia não tem existência autónoma, pois é uma materialização de relações sociais, ou seja, é determinada pela sociedade. Nesta perspetiva, o papel dos atores sociais é fundamental para definir os contornos e as configurações da tecnologia. Alguns autores, como Michel Callon, Bruno Latour, Trevor Pinch, David Noble ou Wiebe Bijker defendem esta perspetiva, que podemos classificar como a de um construtivismo social. A abordagem contingencial de Joan Woodward também se dirige nesse sentido.

A abordagem sociotécnica é por vezes acusada de determinismo, embora no sentido inverso, ou seja, a tecnologia é determinada socialmente. Um exemplo pode ser dado pela conclusão

de Gallie acerca desta relação: “a principal conclusão da investigação é que a natureza da tecnologia em si tem, no máximo, muito pouca importância para a integração social da força de trabalho. [...] A automação avançada provou ser completamente compatível com os níveis dissimilarmente radicais de integração social e fundamentalmente diferentes das instituições de poder. [...] As nossas conclusões evidenciam a importância crítica da cultura em geral e dos padrões da estrutura social de sociedades específicas para determinarem a natureza da interação social no setor avançado [da tecnologia]” (Gallie, 1978: 295).

O sociólogo francês Callon referia que “os engenheiros envolvidos na conceção e desenvolvimento de um sistema tecnológico, particularmente quando estão envolvidas inovações radicais, devem combinar permanentemente análises científicas e técnicas com análises sociológicas” (Callon, 2012: 94). Segundo ele, o conceito de rede de atores permite descrever as alianças e interações que podem ocorrer num dado momento de desenvolvimento de uma tecnologia. Mas também permite conhecer as mudanças e os desenvolvimentos que podem ocorrer de seguida. Esta abordagem permite, assim, conhecer e analisar os processos dinâmicos de desenvolvimento das tecnologias que possibilitam encontrar soluções distintas.

Também John Kenneth Galbraith falava das organizações que, através da sua especialização, permitem a criação de um conjunto de requisitos técnicos e de competências que possibilitam o desenvolvimento tecnológico. Como ele referia no seu livro de 1972, *O Novo Estado Industrial*, não foram génios individuais que lograram as viagens à Lua. Foi sim o trabalho organizativo de talentos que tal permitiu. Pode-se então falar de uma burocracia especializada, ou de “tecnoestrutura” (Galbraith, 1972). Nesta perspetiva, a tecnologia substancia uma forma organizacional e não é autónoma de configurações sociais.

No acima referido debate do processo de trabalho mencionado por Braverman, o foco foi a análise da natureza das “qua-

lificações”. Este sociólogo norte-americano concluiu que existe uma diminuição do uso de trabalho qualificado em função das estratégias de gestão pelo controlo do local de trabalho. Ele também documentou a resistência dos trabalhadores e estas estratégias de gestão.

Com efeito, esta dimensão tem ganho particular relevância atualmente. Como refere o estudo de Pfeiffer e Suffan, as experiências anteriores com a automação e o estado atual de investigação justificam uma mudança radical de perspetiva. No contexto da Indústria 4.0, a automação simplesmente não é a questão mais relevante. Uma implementação bem-sucedida desta abordagem tecnológica vai depender de forma mais decisiva da capacidade de gerar e utilizar conhecimentos com experiência. De acordo com estas autoras, isso será indispensável para a organização da Indústria 4.0 e para o seu bom funcionamento (Pfeiffer e Suffan, 2015: 16).

De acordo com Hoss, “a integração dos departamentos de preparação e de produção através da utilização de tecnologias de informação exige a correspondente reintegração das funções do trabalho. Ao mesmo tempo, a pressão de uma procura discriminada conduz ao abandono do modelo de empresa altamente centralizada” (Hoss, 1992, 71). Existem, por conseguinte, algumas condições possíveis para o desenvolvimento de diferentes opções organizacionais. Este autor diz ainda que, “dependendo das condições do mercado de trabalho disponível e da estrutura de qualificação da sua força de trabalho potencial, uma empresa tem a possibilidade de escolher entre várias combinações de tecnologia e organização do trabalho. No entanto, é também verdade que as configurações estabelecidas tendem a fixar um precedente para as estratégias futuras” (Hoss, 1992, 72).

Outros sociólogos alemães abordaram também esta questão. Kern e Schumann em 1984 escreviam acerca de uma mudança de paradigma das políticas de emprego, pois, com os modelos tradicionais de racionalização, o trabalho humano era consi-

derado um obstáculo à produção. O objetivo seria então a sua substituição por máquinas cada vez mais sofisticadas e automatizadas. O trabalho humano deveria ser, assim, reduzido a tarefas residuais. Começaram, no entanto, a surgir desde a década de 1980 novas experiências e políticas de emprego que promoviam o reconhecimento das competências dos trabalhadores e que defendiam a necessidade de se utilizar mais intensamente esta força produtiva, mesmo em ambientes automatizados (Kern e Schumann, 1984).

### 3.4.3. Análise de estudos recentes de referência

No início de 1981, o Office of Technology Assessment do Congresso Norte-Americano organizava um encontro nacional com o título “Social Impacts of Robotics: Summary and Issues” onde participavam empresários, investigadores e sindicalistas. Aí foram discutidos os diferentes aspetos associados a esta tecnologia, havendo aqueles que consideravam que a robótica iria contribuir para a melhoria da competitividade económica, e com isso criaria novos empregos, e aqueles que consideravam que a robótica iria ter um impacto no emprego e na mudança da natureza do trabalho. O desemprego, a mudança nas qualificações e no ambiente de trabalho seriam os fatores que iriam ser alterados. O objetivo do *workshop* foi avaliar o estado da tecnologia robótica, examinar a estrutura do mercado da robótica, determinar a relação da robótica com outra tecnologia nova de automação e determinar quais as questões importantes da política federal que provavelmente seriam levantadas. O documento publicado no ano seguinte com as diversas contribuições é particular interessante para conhecermos o contexto das questões problematizadas e dos desenvolvimentos da investigação e do mercado de então.

Em 1982, o General Accounting Office (GAO) dos Estados Unidos publica um relatório intitulado “Advances in Automation Prompt Concern Over Increase U.S. Unemployment”. Este

relatório chama a atenção para os efeitos sobre deslocções da mão de obra, embora então se conhecesse muito pouco acerca das potenciais implicações. Desemprego, formação profissional e políticas de mercado de trabalho seriam áreas que iriam requerer a atenção do governo norte-americano. Este estudo estava dividido em várias partes: 1) o crescimento na utilização de computadores e da automação, 2) as previsões do Ministério do Trabalho acerca do aumento de postos de trabalho e dos impactos da automação, 3) o impacto da automação no emprego, 4) a deslocção de postos de trabalho. As conclusões deste relatório merecem ser retomadas para reflexão ainda hoje:

- O uso da automação para aumentar a produtividade é cada vez maior e está a tornar-se uma força generalizada em muitas indústrias, profissões e empregos. Ao contrário de algumas inovações tecnológicas, a automação tem o potencial de afetar muitas indústrias e profissões. Ele cria novas profissões, aumenta empregos em algumas profissões, diminui em outras e muda a natureza dos empregos em outras.
- O impacto de longo prazo da automação nos níveis gerais de desemprego não é realmente conhecido. As opiniões dividem-se: alguns argumentam que o desemprego será aumentado, outros argumentam que vai diminuir. O Ministério de Trabalho acredita que o número de empregos crescerá e o desemprego diminuirá. As opiniões variam em parte devido a diferentes pressupostos feitos sobre os fatores económicos, sociais, políticos e internacionais que também afetam os níveis de desemprego.
- A velocidade com que a automação é implementada também afeta o desemprego. De uma perspetiva geral, muitos acreditam que a adoção da automação e o seu impacto sobre o emprego foram até o momento mais evolutivos do que propriamente revolucionários. No entanto, alguns acreditam que a taxa de mudança pode acelerar, e um aumento do

desemprego geral é possível. Mas a probabilidade disso não é conhecida porque as complexidades e os desconhecimentos que envolvem esta questão são enormes.

- Embora a magnitude do impacto da automação no desemprego de longo prazo seja realmente desconhecida, causou alguns deslocamentos de trabalho de curta duração ao longo dos anos. Alguns acreditam que o maior impacto da automação está em profissões de baixos salários e relativamente perigosas. No entanto, a evidência sugere que as profissões de maior remuneração também estão a ser afetadas e continuarão a ser no futuro.

Podemos, assim, dizer que, desde o início dos anos de 1980, as principais linhas de pensamento sobre a articulação entre a robótica, a automação e o trabalho estão definidas.

Um dos estudos pioneiros sobre o impacto da automação no emprego foi realizado por Leontieff e Duchin. No seu livro *The Future Impact of Automation on Workers*, publicado em 1986, os autores aplicam o modelo de análise económica de *input-output* às tendências de automatização e o seu impacto no mercado de trabalho. Verificaram nas suas projeções de profissões para o ano 2000 que, com os níveis de produção previstos para então, seriam necessários menos 10 a 20 milhões de trabalhadores. A inovação tecnológica permitiria atingir os resultados de produção sem recurso a esses trabalhadores. Mas eles concluíram também que os *outputs* iriam crescer de modo suficiente para que o nível total de emprego pudesse coincidir com o volume de mão de obra projetado para esse ano de 2000. Estes autores consideravam, por isso, que o medo de deslocamentos de emprego derivados da inovação tecnológica seria infundado. Estas previsões apoiavam-se também nas bases de dados do Serviço de Estatísticas do Trabalho (BLS)<sup>18</sup> dos EUA que, por sua vez,

---

<sup>18</sup> Bureau of Labor Statistics.

consideravam as previsões de crescimento demográfico que se encontravam em relação com a evolução da população ativa e do volume de emprego, e consideravam ainda a relação histórica entre a demografia e os *outputs* da economia. Apesar dos problemas que o modelo Leontieff-Duchin apresenta, esta relação entre a automação (como um dos elementos centrais da inovação tecnológica na atividade produtiva) e o mercado de emprego é ainda relevante, embora hoje se reconheça que existem outros elementos que demonstram a sua complexidade analítica.

Autor *et al.* (2003) distingue, por exemplo, entre tarefas cognitivas e manuais, por um lado, e tarefas rotineiras e não rotineiras, por outro. Enquanto a substituição do trabalho pelo computador em tarefas de rotina cognitivas e manuais é evidente, as tarefas não rotineiras envolvem tudo, desde escritos legais, condução automatizada e diagnósticos médicos, até persuadir e vender.

Para Brynjolfsson e McAfee, os algoritmos de *machine learning* podem descobrir semelhanças inesperadas entre dados antigos e novos, auxiliando a informatização de tarefas para as quais grandes quantidades de dados se tornaram disponíveis. Como resultado, a informatização não estará confinada apenas a tarefas rotineiras que podem ser escritas como consultas de *software* baseadas em regras, mas está a espalhar-se para todas as tarefas não rotineiras, onde grandes quantidades de dados estão disponíveis (cf. Brynjolfsson e McAfee, 2011). Para estes autores o ritmo da inovação tecnológica continua a aumentar rapidamente, e as tecnologias de *software* tornam-se cada vez mais sofisticadas produzindo mudanças profundas nos mercados de trabalho, tornando os trabalhadores redundantes. E este processo de computadorização não se encontra apenas confinado às tarefas industriais de rotina. As outras tarefas não-rotineiras também podem vir a ser cada vez mais automatizadas.

Em 2014 a Pew Research desenvolveu um conjunto de estudos no contexto dos 25 anos da Internet, e um deles foi especifi-

camente a inteligência artificial (IA) e a robótica. Esse relatório intitulado “AI, Robotics, and the Future of Jobs” (Pew Research Center, 2014) procurou realizar um conjunto de entrevistas a especialistas para saber se a IA e a robótica se tornariam comuns entre a população no horizonte de 2025. A maior parte deles sublinhou o profundo impacto esperado destas tecnologias em domínios como o transporte, a logística, a vida quotidiana. A maior parte dos serviços também serão afetados em todos os domínios da nossa vida.

Outra dimensão sublinhada foi a que se relaciona com as pessoas idosas, os deficientes ou com necessidades especiais e os doentes. Para estes autores estas tecnologias estão a desenvolver novas aplicações que lhes serão particularmente destinadas e úteis. O estudo concluía também que apenas uma minoria considera que estas mudanças serão apenas graduais e incrementais. Muitos consideram também a existência de uma relação muito significativa entre o trabalho e as qualificações e a robótica e a IA. Muitos postos de trabalho serão alterados, outros serão destruídos e ainda outros criados. Muitas tarefas desempenhadas por humanos não poderão ser substituídas, e existem muitos fatores sociológicos e políticos que impedirão o desaparecimento de postos de trabalho. Serão provavelmente estes fatores que irão determinar o desenvolvimento destas tecnologias.

No relatório do World Economic Forum (WEF) intitulado “The Future of Jobs” (de 2015), apresentam-se conclusões de entrevistas a empresários e especialistas sobre o que poderá ocorrer com as mudanças nas estruturas das profissões e dos mercados de trabalho num horizonte até 2020. Aí confirmam que a robótica (entre outras tecnologias) pode vir a representar uma das principais tecnologias que darão forma ao mercado de trabalho. Surpreendentemente, apenas 9% o indicam, o que é bem mais baixo que outros casos de maior influência nos processos de mudança, como, por exemplo, a Internet móvel e a tecnologia de “nuvem” (34%) ou os avanços na capacidade de computação

e de *big data* (26%) ou os novos fornecimentos e tecnologias de energia (22%) e Internet das coisas (14%) (cf. WEF, 2015:7).

Do ponto de vista do impacto sobre o emprego, o estudo do WEF refere que a robótica e o transporte autónomo podem vir a criar mais 1,36% empregos, enquanto que a mudança da natureza do trabalho e o trabalho flexível poderiam representar um acréscimo de 1,63%. Por outro lado, a inteligência artificial pode significar um decréscimo de 1,56% de empregos a nível global (WEF, 2015: 11). O crescimento do emprego associado à robótica aplicada na indústria estará sobretudo relacionado com a característica de complementaridade associada ao aumento da produtividade, mais do que com o efeito de substituição (WEF, 2015: 12).

O estudo de Frey e Osborne (2013) faz análise de 702 profissões de modo a aproximar o impacto da futura computorização no mercado laboral dos Estados Unidos. O método adotado utilizou avaliação realizada por investigadores da área de *machine learning*. Estes classificaram 70 profissões de acordo com a sua opinião subjetiva a automatibilidade de cada uma. Esse critério de “automatibilidade” deveria corresponder à pergunta “Podem as tarefas deste posto de trabalho ser suficientemente especificadas, condicionadas à disponibilidade de grande quantidade de dados, a serem realizadas por equipamentos controlados por computador de última geração?”<sup>19</sup> (Frey e Osborne, 2013: 30). A seguir utilizaram um classificador com processo gaussiano adaptado para estimar outras profissões que constavam na base de dados da O\*NET (do Serviço de Estatísticas do Trabalho do Ministério do Trabalho dos EUA) e confirmar as avaliações feitas.

Como os autores referem, “distinguimos entre profissões de alto, médio e baixo risco, dependendo da probabilidade de

---

<sup>19</sup> Em inglês: “Can the tasks of this job be sufficiently specified, conditional on the availability of big data, to be performed by state of the art computer-controlled equipment?”

informatização. Não fazemos nenhuma tentativa de estimar o número de postos de trabalho que realmente serão automatizados e focaremos na automatizabilidade potencial do trabalho em alguns anos não especificados. De acordo com as nossas estimativas, cerca de 47% do emprego total dos EUA está na categoria de alto risco. Referimo-nos a estes como empregos em risco, ou seja, empregos que esperamos possam ser automatizados relativamente cedo, talvez na próxima década ou duas” (Frey e Osborne, 2013: 40). Além disso, os salários e os níveis educacionais mostram uma relação fortemente negativa quanto maior for a probabilidade de computadorização.

De acordo com os dados do Serviço de Estatísticas do Trabalho dos EUA, as principais profissões que vão perder postos de trabalho nos próximos 10 anos serão as seguintes:

**Quadro 16**  
**Profissões com maiores decréscimos de postos de trabalho,**  
**2016 e projeções para 2026 (milhares de indivíduos)**

Designação de acordo com a Matriz Nacional do Emprego (2016) e código		Emprego		mudança 2016-26	
		2016	2026	N.º	%
Total, todas as profissões	00-0000	156 063,8	167 582,3	11 518,6	7,4
Secretários e assistentes administrativos, exceto jurídicos, médicos e executivos	43-6014	2 536,2	2 371,4	-164,8	-6,5
Montadores de equipas	51-2092	1 130,9	987,9	-143,0	-12,6
Secretários executivos e assistentes administrativos executivos	43-6011	685,3	566,2	-119,1	-17,4
Inspetores, testadores, classificadores, amostradores e pesadores	51-9061	520,7	465,2	-55,5	-10,7
Instaladores de equipamentos elétricos e eletrónicos	51-2022	218,9	173,6	-45,3	-20,7
Operadores de introdução de dados	43-9021	203,8	160,8	-43,1	-21,1
Verificadores bancários	43-3071	502,7	460,9	-41,7	-8,3
Transportadoras de correio postal	43-5052	316,7	278,5	-38,2	-12,1
Secretários legais	43-6012	194,7	157,5	-37,1	-19,1
Oficiais correcionais e carcereiros	33-3012	450,0	415,5	-34,5	-7,7

Designação de acordo com a Matriz Nacional do Emprego (2016) e código		Emprego		mudança 2016-26	
		2016	2026	N.º	%
Montadores e fabricantes, todos os outros	51-2099	232,4	200,3	-32,2	-13,8
Escritórios de escritório, gerais	43-9061	3 117,7	3 085,7	-32,1	-1,0
Caixa	41-2011	3 555,5	3 526,0	-29,5	-0,8
Cozinheiros, <i>fast food</i>	35-2011	517,6	490,5	-27,1	-5,2
Processadores de texto e mecanógrafos	43-9022	74,9	49,9	-25,0	-33,4
Escritórios de contabilidade, contabilidade e auditoria	43-3031	1 730,5	1 706,9	-23,5	-1,4
Programadores de computador	15-1131	294,9	272,3	-22,6	-7,6
Operadores de máquinas de costura	51-6031	153,9	132,0	-21,9	-14,2
Fabricantes, operadores e inicializadores de máquinas de moldagem, cimento e de moldagem, metal e plástico	51-4072	145,4	123,6	-21,8	-15,0
Operadores de painel de distribuição, incluindo serviço de atendimento	43-2011	93,2	74,7	-18,5	-19,9
Instaladores e reparadores de equipamentos de telecomunicações, exceto instaladores de linhas	49-2022	237,6	219,6	-17,9	-7,6
Classificadores de correio de serviço postal, processadores e operadores de máquinas de processamento	43-5053	106,7	89,1	-17,5	-16,5
Agentes de compras, exceto produtos grossistas, retalhistas e agrícolas.	13-1023	309,4	292,1	-17,3	-5,6
Operadores e inicializadores de máquinas de cortar, puncionar e prensas, de metal e plástico.	51-4031	192,7	175,9	-16,8	-8,7
Operadores de prensa	51-5112	178,7	162,0	-16,8	-9,4
Agentes de arquivo	43-4071	135,0	121,1	-13,9	-10,3
Fotógrafos	27-4021	147,3	134,9	-12,4	-8,4
Operadores de computadores	43-9011	51,5	39,7	-11,8	-22,9
Fabricantes e instaladores de metais estruturais	51-2041	77,0	65,2	-11,8	-15,3
Operadores e inicializadores de máquinas e equipamentos de extrusão e desenho, de metal e plástico.	51-4021	72,3	61,3	-11,0	-15,2

Fonte: Employment Projections program, U.S. Bureau of Labor Statistics, 2016  
Tradução da responsabilidade do autor

**Quadro 17**  
**Profissões com o maior crescimento de postos de trabalho,**  
**2016 e projeções para 2026 (milhares de indivíduos)**

Designação de acordo com a Matriz Nacional do Emprego (2016) e código		Emprego		mudança 2016-26	
		2016	2026	2016	2026
Total, todas as profissões	00-0000	156 063,8	167 582,3	11 518,6	7,4
Assistentes de cuidados pessoais	39-9021	2 016,1	2 770,1	754,0	37,4
Trabalhadores de preparação combinada de alimentos e serviço, incluindo <i>fast food</i>	35-3021	3 452,2	4 032,1	579,9	16,8
Enfermeiras registadas	29-1141	2 955,2	3 392,2	437,0	14,8
Assistentes de saúde em casa	31-1011	911,5	1 337,0	425,6	46,7
Operadores de desenvolvimento de <i>software</i> e aplicativos	15-1132	831,3	1 084,6	253,4	30,5
Manutenção e limpadores, exceto empregadas domésticas e serviço de limpeza	37-2011	2 384,6	2 617,7	233,0	9,8
Gerentes gerais e de operações	11-1021	2 263,1	2 469,0	205,9	9,1
Estivadores e carregadores de frete, mercadoria e materiais, manual	53-7062	2 628,4	2 829,2	200,8	7,6
Assistentes médicos	31-9092	634,4	819,0	184,6	29,1
Trabalhadores de serviço de mesa	35-3031	2 600,5	2 783,0	182,5	7,0
Assistentes de enfermagem	31-1014	1 510,3	1 674,4	164,0	10,9
Trabalhadores da construção civil	47-2061	1 216,7	1 370,0	153,3	12,6
Cozinheiros, restaurante	35-2014	1 231,9	1 377,2	145,3	11,8
Contabilistas e auditores	13-2011	1 397,7	1 538,0	140,3	10,0
Representantes do Serviço ao Consumidor	43-4051	2 784,5	2 920,5	136,0	4,9
Analistas de pesquisa de mercado e especialistas em <i>marketing</i>	13-1161	595,4	731,4	136,0	22,8
Secretários médicos	43-6013	574,2	703,2	129,1	22,5
Trabalhadores de jardinagem e paisagistas	37-3011	1 197,9	1 321,2	123,3	10,3
Motoristas de camiões pesados e de trator-reboque	53-3032	1 871,7	1 985,5	113,8	6,1
Trabalhadores de manutenção e reparação, gerais	49-9071	1 432,6	1 545,3	112,7	7,9
Assistentes de professores	25-9041	1 308,1	1 417,6	109,5	8,4
Gerentes financeiros	11-3031	580,4	688,8	108,4	18,7
Professores do ensino fundamental, exceto educação especial	25-2021	1 410,9	1 514,9	104,1	7,4
Oficiais de armazém e preenchimentos de pedidos	43-5081	2 008,6	2 109,9	101,3	5,0

Designação de acordo com a Matriz Nacional do Emprego (2016) e código		Emprego		mudança 2016-26	
		2016	2026	2016	2026
Analistas de gestão	13-1111	806,4	902,8	96,5	12,0
Rececionistas e funcionários da informação	43-4171	1 053,7	1 149,4	95,7	9,1
Representantes de vendas, serviços	41-3099	983,0	1 077,2	94,2	9,6
Professores e instrutores	25-3099	993,9	1 086,4	92,5	9,3
Especialistas em operações comerciais	13-1199	1 023,9	1 114,1	90,2	8,8
Enfermeiros vocacionais práticos e licenciados habilitados	29-2061	724,5	813,1	88,6	12,2

Fonte: Employment Projections program, U.S. Bureau of Labor Statistics, 2016  
Tradução da responsabilidade do autor

Como se pode verificar, a maior parte das profissões associadas à gestão, à engenharia, à educação, ao direito, às artes e à saúde são profissões com menor possibilidade de computorização, que, no geral, representam  $\frac{1}{3}$  do total do mercado de emprego norte-americano. Já as profissões ligadas aos setores de serviços, comércio, administração e produção industrial serão as que podem ter maior propensão de computorização e, portanto, de maior risco de desemprego. De todos os modos, estas profissões serão as principais do grupo de maior risco que pode vir a representar os referidos 47% de todo o mercado de trabalho.

Outro estudo acerca deste tema publicado no livro de Srnicek e Williams intitulado *Inventing the Future: Postcapitalism and a World Without Work*, de 2015) chama-nos a atenção para aspectos significativos desta relação. Os autores dizem que a comunicação social tem ficado “hipnotizada” com a produção de populações excedentárias devido à mudança tecnológica. Dizem eles que “enquanto esta atenção tem sido focada nos medos de um iminente apocalipse de postos de trabalho levado a cabo por vastos exércitos de robôs, os desenvolvimentos tecnológicos podem também tornar os velhos processos mais produtivos sem automação (por exemplo, avanços na agricultura)” (Srnicek e Williams, 2015: 88). Não existe, portanto, razão para prever

o crescimento do desemprego apenas com base nos avanços da tecnologia. É necessário bastante mais para poder sugerir uma hipótese. Eles referem ainda que, do ponto de vista lógico, “mesmo que a tecnologia elimine alguns postos de trabalho, o crescimento na procura é suficiente para criar novos postos de trabalho” (Srnicek e Williams, 2015: 89).

Em 2016, a OCDE estimou a automatibilidade das tarefas. Esse conceito foi desenvolvido baseado na articulação dos indicadores de automatibilidade de Frey e Osborne e os códigos PIAAC<sup>20</sup> dos dados das profissões, seguido por uma análise de regressão adaptada em dois passos (Arntz, Gregory, Zierahn, 2016). De um modo geral, este estudo encontrou a participação de 9%, em média, de empregos em risco de automação, em todos os países da OCDE. No entanto, esses números podem ser limitados ao informar sobre o impacto potencial dos avanços tecnológicos. Em particular, este trabalho de Arntz, Gregory e Zierahn discute várias razões pelas quais esses números ainda não podem ser equiparados às perdas de emprego esperadas reais de avanços tecnológicos. Como os autores referem, “achamos que a aplicação de uma abordagem baseada em tarefas resulta num risco muito menor de automação em comparação com a abordagem baseada na profissão. Por exemplo, enquanto Frey e Osborne acham que 47% dos empregos dos EUA são automatizáveis, os nossos dados correspondentes indicam apenas 9%. A ameaça dos avanços tecnológicos é, portanto, muito menos pronunciada em comparação com a abordagem baseada na profissão por Frey e Osborne. Essa diferença substancial é impulsionada pelo facto de que mesmo em profissões que Frey e Osborne consideravam estar na categoria de alto risco, os trabalhadores, pelo menos até certo ponto, também realizam tarefas que são difíceis de automatizar, como tarefas que envolvem a interação face a face” (Arntz, Gregory, Zierahn, 2016: 8).

---

<sup>20</sup> Programme for the International Assessment of Adult Competencies.

Para a abordagem baseada na profissão, Arntz, Gregory e Zierahn combinaram todos os potenciais valores de Frey e Osborne para cada indivíduo nos dados do PIAAC para os EUA com base na classificação de profissões ISCO<sup>21</sup> de dois dígitos. O resultado assemelha-se muito à estrutura bipolar conhecida do estudo de Frey e Osborne onde a maioria dos postos de trabalho é atribuída a uma automatibilidade muito alta ou muito baixa (cf. Arntz, Gregory e Zierahn, 2016: 15). Apenas alguns postos de trabalho possuem uma média de automatibilidade. Pelo contrário, o resultado da abordagem baseada em tarefas mostra um padrão muito diferente – os dois polos da distribuição movem-se para valores menos extremos da automatização. Assim, menos empregos têm valores de automação muito altos ou muito baixos, levando em consideração a variação das estruturas de tarefas nas profissões. Como resultado, apenas 9% de todos os indivíduos nos EUA enfrentam uma alta automatização, ou seja, uma automação de pelo menos 70%. Este número contrasta com Frey e Osborne, que argumentam que 47% dos empregos dos EUA estão em alto risco de serem automatizados.

Aparentemente, deveremos ter em conta a variação das tarefas dentro das profissões, o que implica um enorme impacto na automação estimada dos empregos. Isso ocorre porque as pessoas muitas vezes executam tarefas que são muito difíceis de automatizar, como, por exemplo, tarefas interativas (trabalho em grupo ou interações face a face com consumidores, clientes, etc.). Ou seja, mesmo algumas profissões dominadas pelo trabalho rotineiro incluem tarefas cujo caráter qualitativo as mantém como fundamentais nas estruturas de trabalho. E é esta discrepância que o estudo de Arntz, Gregory e Zierahn revelou, permitindo relativizar o alarmismo colocado por muitos analistas acerca do potencial efeito da tecnologia sobre o mercado de trabalho.

---

<sup>21</sup> International Standard Classification of Occupations, ou Norma Internacional de Classificação de Profissões, gerida pela Organização Internacional de Trabalho.

O potencial técnico de automatização em diversos setores varia de acordo com os diferentes tipos de atividades, como poderá ser visto na figura publicada pelo Instituto McKinsey com base nos dados do Serviço de Estatísticas do Trabalho dos EUA<sup>22</sup> que se encontra na recente publicação *A future that works: Automation, Employment, and Productivity* (McKinsey Global Institute, 2017: 44).

Neste quadro, onde se cruzam os diferentes setores de atividade e o tipo de tarefas associadas, pode-se verificar o grau de automatizabilidade de modo mais preciso.

Com as previsíveis tendências de evolução da aplicação de tecnologias avançadas em diferentes áreas profissionais, teremos necessidade de compreender os potenciais desenvolvimentos macroeconómicos nos diferentes países e regiões para conhecermos melhor as dinâmicas dos mercados de emprego. De modo simples, podemos dizer que se for previsível um aumento do crescimento económico que implique aumento do volume de emprego será necessário saber em que bases se concebe o crescimento económico. Será com base no investimento em melhorias de produtividade associadas à modernização dos equipamentos produtivos? Ou será que se fundamenta na mesma base de infra-estruturas produtivas, mas com uma diminuição do custo do trabalho? Neste segundo cenário, bastaria manter um crescimento salarial próximo de 0% quando a taxa de inflação tende a situar-se em 1% ou 2%. Estão aqui, portanto, opções divergentes de crescimento económico com efeitos diferenciados no mercado de trabalho: uma, que promove a inovação tecnológica, mas que pode implicar necessidades de mudança de qualificações ou de organização do trabalho, e outra, que procura a diminuição de custos de trabalho aumentando a produtividade direta o que pode implicar contenções no aumento do consumo

---

<sup>22</sup> Ver também <https://public.tableau.com/profile/mckinsey.analytics#!/vizhome/AutomationandUSjobs/Technicalpotentialforautomation>.

e da poupança. Ambas opções procuram o crescimento, e ambas comportam implicações indiretas. Em qualquer um dos casos, os efeitos nos mercados de emprego serão notórios.

Perante estas possíveis mudanças nas estruturas do emprego, que políticas sociais são necessárias desenvolver ou considerar para minorar os impactos mais negativos? Serão necessárias medidas associadas de apoio ao investimento na formação profissional? E as ações de requalificação como poderão associar-se a alterações na organização do trabalho? Que implicações isso poderá ter na evolução da massa salarial? E será que essa evolução poderá implicar contenções na capacidade de investimento e, em geral, na formação bruta de capital fixo? E, se sim, como poderão ser as tecnologias escolhidas tendo em atenção cenários de mudança e crescimento no curto, no médio e no longo prazo? Com efeito, cada uma destas perguntas requerem respostas claras da parte dos responsáveis das empresas, sejam elas pequenas ou grandes. Sejam empresas nacionais, estrangeiras, da indústria, do comércio, dos serviços ou da agricultura. E, por conseguinte, todas essas respostas necessitam uma articulação estreita com a informação relativa aos cenários estabelecidos para as políticas macroeconómicas. Mas a opção, quer a nível de empresa, quer a nível de organizações governamentais, requer um acesso simultâneo à informação por parte de todos os parceiros sociais, uma vez que cada um pode e deve contribuir para a melhor definição das opções disponíveis.

Perante estas questões será que o rendimento mínimo garantido (RMG) é uma opção de política social para resolver os problemas de possíveis aumentos de desemprego derivado da modernização tecnológica? Ou como alguns (Bill Gates, entre outros) que propõem impostos sobre robôs como solução para a deslocação de postos de trabalho devido à robotização? Ou poderá a regulação do tempo de trabalho considerar a tendência de aumento da automatização? Com tudo isso, o cenário de uma sociedade onde os robôs trabalham e os humanos desfrutam do lazer é um cenário utópico, mas possível?

Estamos, assim, perante visões de desenvolvimento da sociedade de pode colocar em causa muitas ideias fundamentais e certezas do conhecimento comum. Essas visões podem retomar ideias bem mais antigas onde podem confluir os textos de Platão, Thomas Moore, Tommaso Campanella, Karl Marx. Todos eles nos falavam de sociedades alternativas, de sociedades ideais, onde a criatividade, o lazer e o prazer passam para o centro das vidas quotidianas, por contraste às suas sociedades contemporâneas caracterizadas pelo sofrimento, conflitos e guerras, pela opressão e escravidão. Mas, de novo, muitas destas novas visões trazem elementos de um novo determinismo tecnológico onde, por meio da inovação e do desenvolvimento da automação, a sociedade pode libertar-se da carga negativa que o trabalho transporta.

O processo de mudança na indústria que tem permitido desenvolver e aplicar o conceito de “Indústria 4.0” tem acelerado as alterações estruturais da economia nos últimos anos. Essas alterações dizem sobretudo respeito ao incremento dos processos de globalização, de introdução da flexibilização de horários de trabalho (começou por ser sobretudo em alguns países nórdicos e na Holanda, e hoje encontra-se cada vez mais disseminada em outros países), de mobilidade de trabalhadores entre diferentes espaços nacionais (com especial impacto na Europa), de diminuição de custos de trabalho (em particular com o desenvolvimento da crise político-financeira da última década) e do aumento da concorrência internacional, muitas vezes fundada no fator de preço do produto final. Ora isto significa que o impacto nos mercados de trabalho tem sido cada vez mais importante. De entre esses impactos podemos destacar, entre outros, os seguintes:

- a) Digitalização do trabalho;
- b) Alterações nas estruturas profissionais;
- c) Precarização de relações laborais;
- d) Transferências setoriais de requisitos de postos de trabalho.

Devemos dizer ainda que os diversos estudos sobre esta matéria não permitem estabelecer uma tendência dominante em termos de perda de postos de trabalho, mas indiciam uma acentuação das características acima indicadas, o que obrigará a esforços de formação para requalificação muito acentuados e a maior cuidado com os modos de gestão dos recursos laborais por parte dos empresários. A aplicação da Indústria 4.0 vai obrigar a fortes alterações no modo como as empresas se articulam nos mercados locais, nacionais e internacionais, e como necessitam dar mais atenção ao seu principal recurso: o conhecimento. É um recurso que se pode encontrar entre os seus trabalhadores e que lhes permite utilizar e gerir melhor estas novas tecnologias.

Estes desenvolvimentos recentes vão provocar alterações significativas na estrutura do sistema económico. Certamente, irão permitir que as pequenas e médias empresas possam ficar mais bem integradas nas redes empresariais e nas cadeias de valor. Podem permitir ainda que pelo investimento que fazem em novos sistemas de produção e de integração digital possam aumentar a sua capacidade produtiva e melhorar a qualidade dos seus produtos. Em muitos casos, essa integração do conceito de Indústria 4.0 irá implicar uma utilização mais alargada de sistemas robotizados.

Na apresentação do Programa Indústria 4.0 em Portugal<sup>23</sup>, refere-se que “é uma iniciativa do Governo português com o principal objetivo de acelerar a adoção da Indústria 4.0 pelo tecido empresarial. Desde abril de 2016 foram auscultadas cerca de 120 empresas e entidades que propuseram um conjunto de recomendações para esta adoção acelerada. Em janeiro de 2017 foi anunciada pelo primeiro-ministro, António Costa, uma estratégia nacional para Indústria 4.0, composta por 64 medidas, de iniciativa pública e privada. Estima-se que terão um impacto sobre mais de 50 mil empresas a operar em Portugal e, numa

---

<sup>23</sup> Ver <http://www.i40.pt>.

fase inicial, permitirão requalificar e formar em competências digitais mais de 20 mil trabalhadores. No âmbito destas medidas está previsto serem injetados na economia até 4,5 mil milhões de euros de investimento nos próximos quatro anos. Muitas destas medidas estão já a ser implementadas e dinamizadas por vários *stakeholders*. A COTEC Portugal é a entidade responsável pela monitorização da forma como as medidas estão a ser implementadas e também pela sua atualização, já que as necessidades de atuação em contextos digitais mudam a grande velocidade”. Por conseguinte, o impacto deste programa promete ser bastante significativo. A análise é da responsabilidade de uma consultora internacional (Deloitte)<sup>24</sup>, e aí recorrem a estudos de competitividade internacional.

Refere o documento de apresentação das medidas deste programa nacional que está “Portugal acima da média e como a 23.<sup>a</sup> economia mais preparada a adotar a Indústria 4.0 de um conjunto de 45 países analisados, sendo de destacar as suas infraestruturas, competências gerais e capacidade de inovação. Estas classificações remetem para um razoável grau de preparação que contrasta com a competitividade atual. Segundo o índice de Manufacturing Global Competitiveness de 2016 da Deloitte, a indústria portuguesa encontra-se apenas no 35.<sup>o</sup> lugar de 40 economias analisadas. Ou seja, Portugal não estará ainda a capitalizar esta revolução industrial. A título de exemplo, Portugal tem apenas cerca de um terço de robôs por cada 10 mil empregados face a Espanha. De uma forma geral, podemos assim concluir que Portugal tem um melhor grau de preparação do que competitividade atual, revelando que a Quarta Revolução Industrial

<sup>24</sup> Referido no documento oficial de apresentação das medidas: “tendo a Deloitte, para além de fornecer os seus contributos, sido responsável pela dinamização e gestão do processo que permitiu auscultar mais de 120 entidades, identificar as principais necessidades do tecido empresarial português e assim determinar os inputs necessários que serviram de base aos diferentes decisores para definirem as medidas concretas apresentadas”.

é uma clara oportunidade para esbater as típicas barreiras à competitividade do país, tais como a falta de escala de mercado interno e a localização periférica” (p. 4).

Tendo em consideração estas oportunidades e as dificuldades que se apresentam para a adoção e o desenvolvimento destes novos conceitos de produção, teremos ainda de considerar aspetos que dizem respeito às tendências de desenvolvimento de cada uma das tecnologias em causa. Poderíamos abordar as tecnologias de produção e transformação da energia, ou os sistemas de telecomunicação, ou tecnologias de computação. Mas neste livro, pretendemos orientar a análise para as implicações da robótica no mundo do trabalho. Assim, foquemos então a análise neste tipo de tecnologia, considerando claramente o contexto em que ela se pode aplicar. Assim, os fatores que podem ser considerados fundamentais ao desenvolvimento da robótica são: a) a sua viabilidade técnica, b) o custo do desenvolvimento e implantação de soluções, c) as dinâmicas do mercado de trabalho, d) os benefícios económicos, e, finalmente, e) a aceitação regulamentar e social. Temos, por conseguinte, um conjunto de dimensões de natureza social e económica intrinsecamente associados ao desenvolvimento de uma tecnologia.

Quanto à viabilidade técnica podemos referir que a tecnologia precisa ser inventada, integrada e adaptada em soluções que automatizam atividades específicas. A implantação no local de trabalho só pode começar quando as máquinas atingirem o nível de desempenho exigido nas capacidades necessárias para realizar atividades específicas. Enquanto as máquinas já podem combinar ou superar os seres humanos em algumas das nossas capacidades (incluindo recuperação de informações, habilidades motoras grosseiras e otimização e planeamento), muitas outras capacidades requerem mais desenvolvimento tecnológico. Em particular, os avanços na compreensão da linguagem natural poderiam desbloquear significativamente mais potencial técnico de automação. As capacidades de raciocínio emocional e social

também precisam de se tornar mais sofisticadas para muitas atividades de trabalho. Para atividades típicas de trabalho, serão necessárias simultaneamente múltiplas capacidades, como a percepção sensorial e a mobilidade, e, portanto, as soluções que integram capacidades específicas em contexto devem ser projetadas.

A propósito do custo do desenvolvimento e implantação de soluções, podemos dizer que o custo da automação afeta a adoção do estudo de caso, isto é, este fator pode representar um impedimento na adoção de uma tecnologia, ou ser um fator favorável. As tecnologias de desenvolvimento e engenharia de automação implicam bastante capital. As soluções de *hardware* variam desde computadores padronizados até *hardware* altamente concebido e específico para aplicações complexas, como robôs com braços e outras partes móveis que exigem destreza. As câmaras de visão e sensores de diversos tipos são necessários, para qualquer atividade que exija capacidades de percepção sensorial, enquanto a mobilidade requer rodas ou outro equipamento e componentes que permitam que as máquinas se movam. Tais atributos aumentam os custos em relação a uma plataforma de uso geral. Mesmo as soluções “virtuais” baseadas em *software* exigem investimentos reais em engenharia (infraestruturas de computação, serviços de telecomunicação e conhecimento qualificado) para criar soluções. Para a implantação, o equipamento requer gastos de capital significativos, e, portanto, a automação exige custos iniciais elevados em relação aos da massa salarial. As soluções de *software*, em comparação, tendem a ter um custo marginal mínimo, que geralmente as torna menos dispendiosas do que os salários e, portanto, tendem a ser adotadas o mais cedo possível. Ao longo do tempo, os custos de *hardware* e *software* tendem a diminuir, tornando as soluções competitivas com o trabalho humano para um número crescente de atividades.

Quanto às dinâmicas do mercado de trabalho, verificamos que a qualidade (por exemplo, as qualificações), a quantidade, bem como o fornecimento, a procura e os custos do trabalho

humano, determinam quais as atividades que serão automatizadas. Por exemplo, a cozinha dos restaurantes tem um alto potencial de automação. Muitas vezes mais de 75%, com base em tecnologias atualmente demonstradas. Mas a decisão de introduzir uma qualquer nova tecnologia nesse setor precisará de levar em conta os custos salariais dos cozinheiros, que ganham pouco por hora em média, e a abundância de pessoas dispostas a trabalhar como cozinheiros com esse salário. Poder-se-ia argumentar que esse potencial então seria maior para restaurantes *gourmet*. No entanto, nestes a competitividade reside na capacidade inovadora e na criatividade humana colocada na elaboração dos pratos ou no relacionamento pessoal do serviço. Por conseguinte, esse potencial apenas se poderia verificar em restaurantes com elevada rotina nas tarefas, repetibilidade e massificação do serviço com alguma flexibilidade (por exemplo, tipos de pratos oferecidos).

A dinâmica do mercado de trabalho difere também pela geografia, não só em termos de como a demografia envolvente afeta a base de oferta de mão de obra, mas também as diferentes taxas salariais. A fabricação automatizada é mais provável de ser adotada mais cedo em países com altos salários no setor da indústria transformadora, como por exemplo na América do Norte, Japão e Europa ocidental, do que nos países em desenvolvimento com salários mais baixos. Além disso, os efeitos da automação podem interagir com as qualificações e o fornecimento do mercado de trabalho. Por exemplo, se os trabalhadores de rendimento médio, como funcionários e trabalhadores das fábricas, são deslocados pela automatização de recolha e processamento de dados e atividades físicas previsíveis, eles podem encontrar-se num processo de mobilidade para profissões de rendimentos mais baixos, aumentando a oferta e potencialmente pressionando os salários. Por outro lado, eles podem ter tempo para se formar para outras posições de alta qualificação, atrasando a sua reentrada na força de trabalho e reduzindo temporariamente a oferta de mão de obra.

No que diz respeito aos benefícios económicos, além das poupanças com os custos do trabalho, um caso que permita a automação pode incluir ganhos de desempenho, como aumento do lucro, aumento do rendimento e produtividade, melhores condições de segurança e maior qualidade. Frequentemente, estes ganhos excedem os benefícios da substituição do trabalho. Noutras palavras, as tecnologias de automação poderão proporcionar benefícios de desempenho significativos para as empresas, além da substituição do trabalho humano. Por exemplo, os benefícios do aumento da produção e a redução dos custos gerais de manutenção, ao automatizar a sala de controlo de uma instalação de produção de petróleo e gás, diminuem os custos associados aos menores custos relativos à mão de obra na sala de controlo. A condução automatizada de carros e camiões ou autocarros não só pode reduzir os custos de trabalho associados aos motoristas, mas também estar associado à melhoria potencial da segurança (a grande maioria dos acidentes resulta de erros dos condutores) e eficiência de combustível. Sendo por estes fatores que claramente se obtêm benefícios económicos, há que considerar sempre outros fatores que implicam o trabalho humano indireto (programação, manutenção, controlo) e mesmo equipamento adicional já acima referido (sensores, *hardware* específico). A tomada de decisão para o desenvolvimento da tecnologia robótica terá sempre de considerar também estes fatores.

Sobre a aceitação regulamentar e social, mesmo quando a implantação da automação faz sentido comercial, a taxa de adoção pode ser afetada por fatores contextuais como a aprovação regulatória e a reação dos utilizadores. Há várias razões pelas quais a adoção da tecnologia não acontece de um momento para o outro. A mudança de investimento de capital para essas novas tecnologias leva tempo (em conjunto), assim como a mudança dos processos e práticas organizacionais para se adaptar às novas tecnologias. Reconfigurar as cadeias de fornecimentos e os ecossistemas pode ser difícil de conseguir e desenvolver. Além disso,

os regulamentos por vezes precisam de ser alterados, e frequentemente esse processo requer o envolvimento de várias instituições externas e de especialistas, tornando-se num processo relativamente moroso. A política governamental pode mesmo atrasar a adoção, e as diferentes empresas adotam tecnologias a diferentes ritmos. Alterar as atividades que os trabalhadores fazem exige também um esforço dedicado, mesmo que não resistam ativamente a essa mudança. E especialmente no caso da automação, os indivíduos podem sentir-se desconfortáveis com um mundo novo onde as máquinas substituem a interação humana em algumas configurações de vida íntima, como um hospital ou em locais onde as máquinas devem tomar decisões de vida e morte, como, por exemplo, na condução de veículos.



## 4. Robótica como tecnologia de referência

Neste capítulo iniciaremos a abordagem da robótica com a inclusão de um conjunto de definições, e incluímos também a análise da robótica como uma das componentes centrais dos processos de automação e de desenvolvimento dos sistemas de produção. Nesse sentido continuamos com uma abordagem aos diversos domínios e áreas em que hoje em dia a robótica tem sido aplicada. Considerando esta diversidade e a importância da utilização destas máquinas inteligentes no mundo moderno, introduzimos os elementos de análise ética e das implicações legais e sociais associadas. Aqui iremos considerar os aspetos mais específicos da robótica, e não necessariamente todos os outros ligados ao desenvolvimento da tecnologia e da interação humana com as máquinas.

### 4.1. Elementos para uma definição de robótica

A definição de robótica e de robôs não é consensual, e do ponto de vista histórico, foi conhecendo alterações significativas.

A robótica pode ser definida como o estudo da ligação inteligente entre os sistemas de sensores e os atuadores (H. Inoue, 2008, *Handbook of Robotics*). Já na década de 1980, a robótica era definida como a ciência que estuda a relação inteligente entre a percepção e a ação. Nesta definição a “ação” inclui a manipulação e a locomoção, a “percepção” os sistemas sensoriais, e a “ligação

inteligente” (ou relação) inclui a programação, o planeamento e o controlo. Leontieff e Duchin ao analisar o impacto da automação no mercado de trabalho referem que “a mais significativa inovação na conceção de máquinas ferramentas neste século [XX] teve lugar nos anos de 1950 com o desenvolvimento do controlo numérico para cortar e formar metais” (Leontieff e Duchin, 1986: 31). Para estes autores, a robótica constituiu o segundo elemento mais importante da automação industrial. E para eles, “um robô distingue-se pelo seu braço multiarticulado que permite deslocar uma ferramenta ou peça de trabalho para pontos específicos ou ao longo de trajetórias específicas e levar a cabo operações designadas nesses pontos” (Leontieff e Duchin, 1986: 32). Nessa altura as principais aplicações destinavam-se a substituir postos de trabalho pouco atrativos e perigosos em fábricas de fundição, ou do setor automóvel (em tarefas de soldadura e pintura), ou ainda de montagem de equipamentos agrícolas.

Na Wikipédia um robô é definido como um agente artificial mecânico ou virtual, sendo normalmente uma máquina eletromecânica que é guiada por um programa de computador ou circuitos eletrónicos, e que inclui um tipo de sistema imbuído. De acordo com a US Robotics and Automation Society of the Institute of Electronics and Electrical Engineers (IEEE), a robótica foca-se em sistemas que incorporam sensores e atuadores que operam autonomamente ou semiautonomamente em cooperação com humanos.

Um modo mais criterioso de considerar a sua definição será através da análise das normas aprovadas. As normas são geralmente estabelecidas após intensa discussão entre especialistas na área, e são constituídos grupos de trabalho para cada uma das suas dimensões. Podemos, assim, considerar as seguintes normas que mais se aproximam aos elementos constitutivos de uma definição:

- Diretiva sobre Maquinaria 2006/42/EC na Europa;
- Norma ISO 10218 sobre robôs industriais;
- Norma ISO para robôs de cuidados não-médicos (ISO 13482);
- “Manipulating industrial robot” (robô industrial de manipulação) definida na ISO 8373.

Assim, um robô é definido nesta norma como um manipulador programável, automaticamente controlado, reprogramável, com multipropósitos, com três ou mais eixos, que podem ser fixos num local ou móveis para serem usados em aplicações industriais de automação (cf. ISO 8373:2012).

Esta norma internacional define termos usados na relação com robôs e dispositivos robóticos operando em ambientes industriais e não-industriais. Um dos termos mais utilizados é o de “manipulador”, ou seja, uma máquina cujo mecanismo consiste normalmente numa série de segmentos, juntos ou deslizando relativamente a outros, com o propósito de agarrar e/ou mover objetos (peças ou ferramentas) geralmente com vários graus de liberdade. Outro termo importante na definição de robô é o da sua “autonomia”, ou seja, a capacidade de desempenhar tarefas intencionadas baseadas no estado atual e com sensibilidade, sem intervenção humana. A característica de “reprogramabilidade” é outro elemento central, isto é, o robô integra movimentos ou funções auxiliares programadas que podem ser alteradas sem alteração física. O “multipropósito”, ou seja, a capacidade de ser adaptado para diferentes aplicações com alteração física, é outro termo que está associado às características destas máquinas.

Assim, um robô é um mecanismo programável que atua em dois ou mais eixos com um grau de autonomia, movendo-se dentro do seu ambiente para realizar tarefas intencionadas. Trata-se de uma definição integrada na norma ISO 8373. Um robô inclui, por conseguinte, um sistema de controlo e a sua interface. A classificação de robô como sendo industrial ou de serviço é dada de acordo com a sua aplicação desejada. Portanto, um robô industrial

é um manipulador controlado automaticamente, reprogramável, com manipulação multipropósito, programável em três ou mais eixos, e que pode estar fixado num local ou móvel para utilização em aplicações de automatização industrial. O robô profissional de serviço é utilizado para tarefas comerciais, geralmente operado por um operador com formação adequada. É também integrada neste conjunto de definições a de “operador” por se tratar da pessoa designada para iniciar, monitorizar e parar a operação intencionada de um robô ou de um sistema robotizado.

Nestas definições de robôs e sistemas robotizados, estão as supracitadas normas internacionais que orientam a produção e a utilização destes equipamentos ou máquinas. Para a sua constituição formaram-se grupos técnicos internacionais de trabalho que integram especialistas técnicos com diferentes áreas de conhecimento.

Uma das comissões técnicas da Organização Internacional de Normalização (ISO) estabelece os princípios normativos dos robôs e dispositivos robóticos (ISO/TC 184/SC 2). Esta comissão integra vários grupos de trabalho. O grupo de trabalho 1 (WG1) definiu o desenvolvimento de normas de segurança, e um grupo de trabalho 2 (WG2) prepara um vocabulário consistente, incluindo os novos robôs de serviço e uma revisão do vocabulário existente para os robôs tradicionais (ISO 8373).

Os membros destes grupos de trabalho identificaram que o vocabulário é um tema particularmente importante, pois é necessário para facilitar, quer as novas aplicações em ambientes industriais, quer o desenvolvimento de robôs de serviço. As novas normas ISO de segurança para robôs industriais estão a ser desenvolvidas por um grupo internacional de trabalho (WG3) que tem especialistas do Leste Asiático, da América do Norte e da Europa. A primeira parte destas normas (ISO 10218-1 *Robots for industrial environments – Safety requirements – Part 1: Robot*) foi publicada inicialmente em 2006 e atualizada em 2011. A segunda parte, desenvolvida tomando em consideração os integradores de

robôs em células ou linhas completas (ISO 10218-2, Robots for industrial environments – Safety requirements – Part 2: Robot system and integration), foi publicada em 2011. Houve também um trabalho paralelo com a Comissão Europeia de Normalização (CEN), e aqui os especialistas do setor de fabricação de robôs industriais quiseram substituir as normas regionais e nacionais por estas normas globais de segurança robótica.

Outra comissão técnica constituiu dois grupos de trabalho relacionados com a área de saúde (ISO/TC 184/SC 2): o grupo de trabalho sobre segurança de dispositivos médicos usando tecnologia robótica, e o grupo de trabalho sobre segurança de robôs para cuidados pessoais.

O grupo sobre segurança de dispositivos médicos<sup>25</sup> trabalha para a extensão com a família de normas colaterais e particulares para equipamento médico elétrico que cobre os robôs usados em medicina (IEC 60601). Existe efetivamente uma distinção entre equipamentos médicos elétricos<sup>26</sup> e robôs médicos. Este grupo trabalha atualmente no projeto de formulação da norma IEC/TR 60601-4-1 (Medical electrical equipment – Part 4-1: Guidance and interpretation – Medical electrical equipment and medical electrical systems employing a degree of autonomy) sobre este tipo de equipamentos.

O grupo de trabalho sobre segurança de robôs de cuidados pessoais<sup>27</sup> dedica-se à elaboração e desenvolvimento de normalização sobre segurança de robôs de serviço que estão designados para desempenhar ações que contribuem diretamente para a melhoria da qualidade de vida dos humanos, excluindo as aplicações médicas<sup>28</sup>. Os tipos de robôs considerados são os robôs de serviço móvel (Mobile servant robot), os robôs de assistência

<sup>25</sup> WG on Safety for medical devices using robotic technology.

<sup>26</sup> Medical Electrical Equipment (MEE).

<sup>27</sup> WG on Personal care robot safety.

<sup>28</sup> Guidance guide to ISO 13482.

física (Physical assistant robot), e os robôs de transporte pessoais (Person carrier robot).

No que diz respeito às aplicações industriais (as mais comuns no domínio da robótica) a norma de referência é a ISO 8373. Aí o elemento principal associado à segurança na interação com humanos é o espaço: ou a interação pode ser direta com humanos ou indireta com recurso a grades de separação. De todos os modos, o espaço no qual um robô pode operar é o seu “envelope de trabalho”, o que integra o seu espaço de trabalho. De acordo com as regras de segurança, os operadores não podem entrar nesse “envelope” enquanto o robô estiver em operação e movimentação.

Os robôs são máquinas automatizadas e por isso têm sistemas de controlo. Um tal sistema é um conjunto de funções de controlo lógico e de energia que permite monitorizar e controlar a estrutura mecânica do robô e a sua comunicação com o ambiente (equipamento e utilizadores). Mas os novos tópicos da norma ISO 8373 é a interação com humanos. Podemos, assim, considerar as seguintes definições:

- Operação colaborativa – estado no qual se concebem robôs que trabalham propositadamente em cooperação direta com operadores humanos num espaço de trabalho bem definido;
- Robô colaborativo – é um robô concebido para interação direta com um humano;
- Interação humano-robô – é a troca informação e de ação (com meios vocais, visuais e táteis) entre um humano e um robô para realizar uma tarefa com recurso a uma interface de utilizador.

Como vimos, todas estas definições associadas ao estabelecimento de normas internacionais permitem clarificar o que se entende por robô e os dispositivos associados, assim como as várias aplicações possíveis.

## 4.2. A emergência da robótica como tecnologia avançada no desenvolvimento da automação

A robótica começou a ser utilizada em aplicações industriais que se articulavam com outros equipamentos mais ou menos convencionais. De todas as formas, esta tecnologia integrou-se num conceito de automação avançada que permitia retirar operadores humanos da atividade de produção em diversos postos de trabalho. Apesar dessa possibilidade, nem sempre isso aconteceu. Leontieff e Duchin afirmavam mesmo que “não consideramos que o progresso técnico e os incentivos económicos levarão a uma produção sem pessoas cerca do ano 2000” (Leontieff e Duchin, 1986: 33). Esta afirmação é interessante num período onde se diagnosticavam também alterações radicais no mercado de trabalho para esse horizonte de tempo.

Existem, no entanto, sempre diferentes opções e possibilidades. De qualquer modo, o desenvolvimento de novos equipamentos de produção, como máquinas-ferramentas de controlo numérico, de manipuladores e de robôs, ou de sistemas automáticos de transferência, constituiu um processo articulado de desenvolvimento do conceito de automação fabril. O objetivo foi sempre o de aumentar a produtividade, a flexibilidade e qualidade do produto.

Sendo esses os resultados esperados, este novo conceito implicou (e implica ainda!) sempre um esforço grande em termos de financiamento. Estas novas tecnologias, estes equipamentos automatizados, representaram custos muito elevados para as empresas. Por essa razão, apenas as grandes empresas investiram numa primeira fase (anos 60 e 70) neste tipo de tecnologia avançada. Nas décadas seguintes do século XX, os equipamentos deixaram de ter os mesmos custos relativos e tornaram-se mais acessíveis a empresas de tamanho médio. Alguns setores conheceram uma maior difusão destas tecnologias. Foram sobretudo empresas que trabalhavam em produtos e componentes com

elevada incorporação de engenharia. Os setores de produtos metálicos com alguma complexidade, ou setores de máquinas elétricas e componentes eletrônicos, foram aqueles que mais investiram neste conceito. Nas últimas décadas, tem existido uma maior variedade de setores que definiram uma estratégia de automatização. Esta estratégia tem vindo, mais recentemente, a tomar contornos específicos derivados de um desenvolvimento da tecnologia de produção. A estas novas tendências vários autores e entidades apelidaram de “Indústria 4.0”.

A Terceira Revolução Industrial (ou, como agora seria definida, a Indústria 3.0) emerge nos anos de 1960 com o início da aplicação de dispositivos programáveis às máquinas industriais. O controlo numérico começou a ser aplicado no setor de fabricação em metal ainda nessa década, na qual começam a ser introduzidos também os primeiros robôs. A contribuição, desde esta década, para a nova “revolução industrial” baseou-se sobretudo na emergência da robótica a nível industrial. Esta inovação tecnológica permitiu articular máquinas ferramentas com equipamentos programáveis que permitiam autonomamente a manipulação de componentes. Os primeiros robôs realizavam sobretudo tarefas de colocação de peças em máquinas e dispositivos industriais, ou tarefas simples de montagem. Apenas mais tarde se torna possível utilizar e programar estas máquinas para realizarem tarefas de pintura e de soldadura. Só a partir de finais dos anos 70 é que assistimos a uma maior integração dos sistemas de informação e comunicação em ambientes industriais. E isso aconteceu simultaneamente nos países mais industrializados, mas também (embora em menor escala) em Portugal. Nestas décadas os sistemas produtivos desenvolveram-se com o aperfeiçoamento da automatização que permitiu uma elevada flexibilidade (variação de produtos numa mesma linha de produção, o que permitia que as empresas pudessem corresponder melhor às necessidades dos clientes), e integração de informação (articulando os elementos presentes na conceção e desenho do

produto, com o planejamento da produção e a própria atividade comercial).

A nova fase de desenvolvimento (ou a Quarta Revolução Industrial) integra os elementos da terceira e adiciona os novos acima referidos (IoT, ou Internet das coisas, os sistemas ciberfísicos e a *cloud computing*). Teremos assim, com este conceito de Indústria 4.0 sistemas produtivos fortemente automatizados, com uma crescente computorização de atividades e integração de diferentes tecnologias (características da chamada Terceira Revolução Industrial). Mas além disso, novas tecnologias estão disponíveis e podem ser integradas nos sistemas produtivos industriais, aumentando a sua capacidade e a sua produtividade.

Este processo de mudança tem acelerado as alterações estruturais da economia nos últimos anos (globalização, flexibilização de horários de trabalho, mobilidade, diminuição de custos de trabalho, concorrência), o que significa que o impacto nos mercados de trabalho tem sido cada vez mais importantes. De entre esses impactos podemos destacar, entre outros, os seguintes:

- a) Digitalização do trabalho com novos requisitos de competências;
- b) Alterações nas estruturas profissionais (flexibilidade e qualificação);
- c) Precarização de relações laborais (plataformas e orientação para a tarefa);
- d) Transferências setoriais de requisitos de postos de trabalho.

Devemos dizer ainda que os diversos estudos sobre esta matéria não permitem estabelecer uma tendência dominante em termos de perda de postos de trabalho, como já vimos mais atrás, mas indiciam uma acentuação das características acima indicadas, o que obrigará a esforços de formação para requalificação muito acentuados e a maior cuidado com os modos de gestão dos recursos laborais por parte dos empresários. A apli-

cação da Indústria 4.0 vai obrigar a fortes alterações no modo como as empresas se articulam nos mercados locais, nacionais e internacionais, e como necessitam dar mais atenção ao seu principal recurso: o conhecimento. É um recurso que se pode encontrar entre os seus trabalhadores e que lhe permite utilizar e gerir melhor estas novas tecnologias. Mas certamente as tecnologias não irão otimizar as habilidades individuais dos empregados. Essa capacidade é devida ao modo como o trabalho é organizado. No entanto, o aumento da automação permite que trabalhadores mais idosos tenham melhores condições de trabalho, em particular, com a aplicação de robôs mediante algumas condições ergonómicas que propiciem uma atividade colaborativa. Mas os desafios serão mais significativos com aumento de necessidades de qualificação que requerem mais conhecimentos interdisciplinares. As modalidades de Indústria 4.0 possibilitam melhor desempenho e flexibilidade, e requerem maior qualificação.

O desenvolvimento recente da robótica permitiu o surgimento do novo conceito de robôs sociais, ou seja, os “cobôs” ou robôs colaborativos. Embora eles não tenham o mesmo significado que os robôs sociais, eles podem ser usados de maneiras semelhantes nos ambientes de fabricação. Alguns destes robôs podem ser utilizados para tarefas onde já é difícil encontrar no mercado de trabalho especialistas, e por isso podem ser usados para colaborar com trabalhadores mais idosos na manipulação de peças pesadas. Além disso, é notável que, quando mencionamos o “sistema de assistência robotizada” (*assistive robotic system*), não é apenas aos cuidados de saúde que nos referimos, mas o conceito também pode ser aplicado às operações de fabricação.

Os cobôs são potencialmente adequados para tarefas críticas de segurança, como cirurgia e micromontagem, ou aquelas que envolvem grande e poderosa força de interação, como montagem de automóveis (Colgate, Wannasuphprasit e Peshkin, 1996: 433). Os cobôs são geralmente considerados para um

papel de ajuda aos seres humanos nas suas tarefas operacionais e não para substituí-los. Este ponto é importante para indicar porque o objetivo não é a realização de uma tarefa com autonomia total, mas a coordenação de tarefas com operadores humanos, portanto, as características de interação são cruciais.

Esta nova tecnologia também criou abordagens particulares para o conceito de aprendizagem interativa e sistemas de segurança do robô assistente. A aprendizagem interativa tradicional com sistemas assistente necessita ser feita nos ambientes de trabalho. Não basta uma aprendizagem formativa feita em sala. Os conhecimentos tácitos são fundamentais para permitir uma interação com estes sistemas automatizados. Em particular quando essa interação se realiza em ambiente de grande proximidade, ou seja, sem os robôs estarem isolados em zonas protegidas. O mesmo se aplica às medidas de segurança. A robótica assistencial e os cobôs, em geral, implicam que o equipamento deve operar muito perto do operador humano, para que ele ou ela possa ser assistido. As regras e procedimentos de segurança podem ser rigorosos, mas essas medidas devem ser incluídas no processo de concepção, e também devem envolver o operador humano para fornecer informações para obter os melhores resultados possíveis.

Assim, quando falamos de automatização, ou sobretudo de automação avançada por integrar diferentes equipamentos e modos de organizar o trabalho, estamos a falar sobretudo de sistemas robotizados. Os robôs são entendidos como elementos centrais no desenvolvimento da automatização. Para muitos, o mesmo se poderia dizer da inteligência artificial. Considero, no entanto, que a utilização de uma dicotomia robótica/inteligência artificial não tem sentido. Hoje em dia, a inteligência artificial é sobretudo um elemento central da robótica (alguns falam mesmo de uma “robótica inteligente”). Além disso, se a inteligência artificial tem sido aplicada a todos os domínios da nossa vida, quer privada, quer social ou de trabalho, o mesmo se

pode dizer da robótica. Contudo, a ideia da “robótica em todo o lado” é bem mais recente que a da inteligência artificial em “todo o lado”. A ubiquidade da inteligência artificial faz-se sentir no setor financeiro, na produção e distribuição de energia, na gestão de transportes, nas telecomunicações e, mais recentemente, nos setores da saúde, do comércio e da logística, no setor do turismo, no setor da produção mediática e, claro, na indústria transformadora. Por sua vez, a robótica tem sido, até muito recentemente, exclusivamente aplicada na indústria. Apenas mais recentemente, tem vindo a ter importância crescente nos setores da saúde, da logística, da vigilância e militar. Mas, sem dúvida, a indústria é o setor onde a robótica maior quantidade de equipamentos tem instalados.

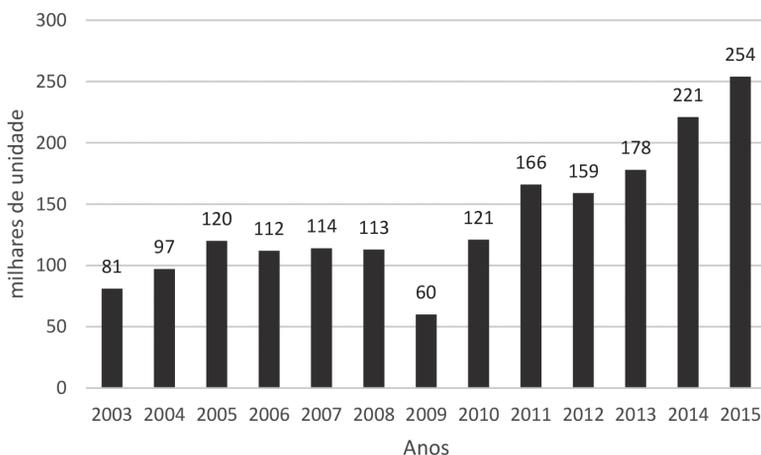
### **4.3. As aplicações da robótica: da indústria à “robótica em todo o lado”**

A quantidade de robôs adquiridos anualmente para aplicações nos mais variados setores tem vindo a aumentar muito rapidamente. Se em 2003 eram mais de 80 mil robôs instalados por ano a nível mundial, em apenas 10 anos esse valor passou para quase 180 mil. Hoje em dia estará perto dos 300 mil. Isto significa que os processos de automatização estão a aumentar muito rapidamente em todo o mundo. Mas temos de compreender que as atividades produtivas estão também a aumentar rapidamente, acompanhando o aumento da atividade económica e do consumo de bens. 300 mil robôs instalados por ano no mundo inteiro é já um volume muito elevado, significando que o seu número mais que triplicou em poucos anos. A International Federation of Robotics (IFR) prevê um aumento de vendas para mais de 414 mil em 2019 (IFR, 2016).

Uma característica nova nestes processos é que eles não se confinam agora apenas à Europa, à América do Norte ou ao

Japão e Coreia do Sul. Estes países e regiões são ainda os que mais investem nestes equipamentos, mas atualmente outros países estão também a adotar estas estratégias de modernização industrial, e a investir fortemente em robótica.

**Gráfico 3**  
**Número de robôs industriais fornecidos**  
**anualmente (estimativa), IFR, 2016**



Fonte: IFR, 2016

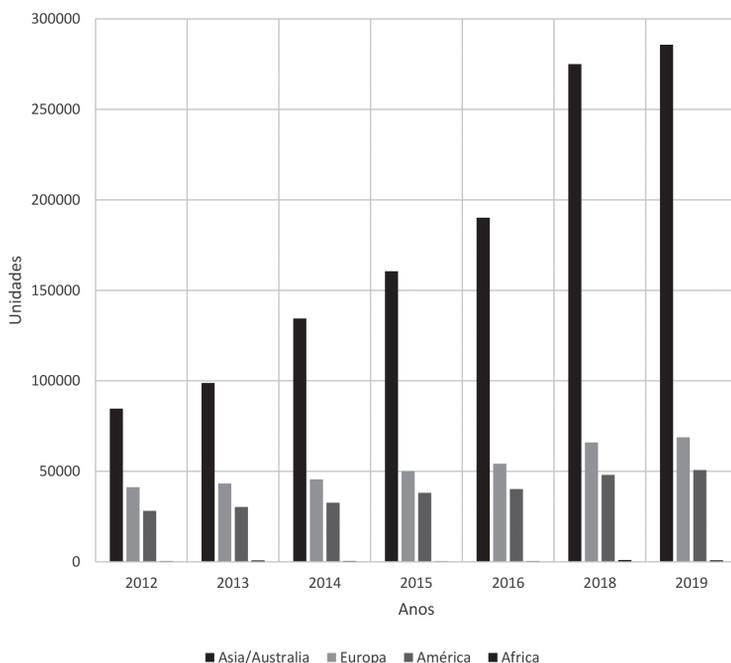
Desde 2010 que o aumento médio anual de robôs tem sido 16%. Nunca antes houve tal crescimento. O principal mercado tem sido atualmente o asiático, incluindo também a Austrália e a Nova Zelândia. Este gráfico mostra claramente que, pelo menos no setor industrial, o número de robôs instalados tem vindo a crescer muito rapidamente. Mais de 250 mil robôs novos instalados anualmente é um volume de investimento muito elevado, mesmo considerando que os dados respeitam a valores globais. De acordo com a informação fornecida pela IFR, o número de robôs industriais operacionais em todo o mundo aumentou de 2014 para

2015 11%, situando-se agora em 1,6 milhões de unidades. Em 2019 prevê-se que esse número atinja os 2,6 milhões de unidades. Desde 2010 que o aumento médio anual é da ordem dos 9%.

Claro que nem todos os novos robôs representam um acréscimo absoluto no número de robôs. Muitos destinam-se a substituir robôs obsoletos. No gráfico acima podemos calcular que apenas nos anos considerados houve um aumento absoluto de cerca 1,8 milhões robôs (ou seja, uma média de 138 mil por ano). Se um robô tem uma esperança média de vida de 10 anos, teremos então de considerar que a maior parte dos robôs introduzidos em 2015 serviriam já para substituir os que haviam sido adquiridos em 2005. Não vale a pena continuar neste tipo de cálculos, mas apenas concluir que estes quase dois milhões de robôs novos implicam um aumento substancial de interesse empresarial por esta tecnologia e uma aplicação cada vez mais polivalente. Os novos robôs não servem apenas para manipular peças ou realizar operações de pintura e soldadura. Muitos destes novos robôs já podem realizar operações mais complexas que requerem modos de programação e controlo mais sofisticados. Dito isso, os 1,6 milhões de robôs operacionais implicam que quase cinco milhões de trabalhadores estejam muito diretamente relacionados com a atividade destes robôs (ou quase oito milhões em 2019 se utilizarmos as previsões da IFR), se considerarmos a manutenção da proporcionalidade de um robô para três operadores cujas tarefas sofrem a influência direta deste equipamento.

Mesmo quando estamos a falar de um volume global de robôs operacionais, teremos de considerar também que os novos robôs estão a ser instalados de modo diferencial em cada região do mundo. No gráfico seguinte pode ver-se essa evolução recente de fornecimento de robôs distribuída por regiões do mundo.

**Gráfico 4**  
**Fornecimento anual de robôs industriais por região,**  
**2012-16 e previsão para 2018-2019 (IFR)**



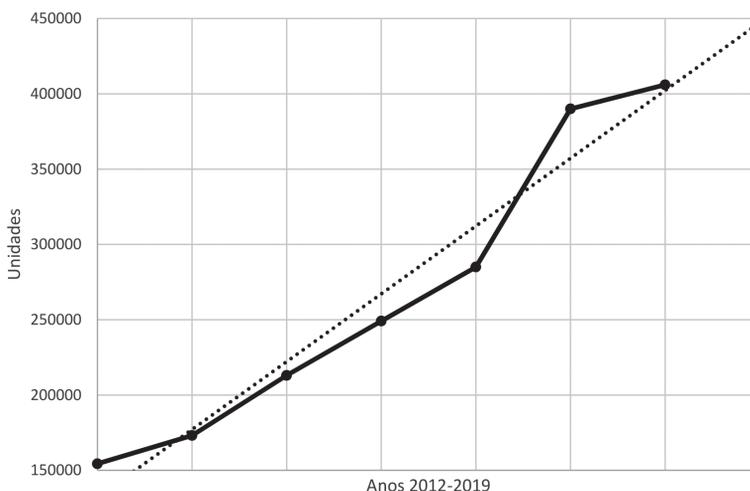
Fonte: Vários relatórios anuais da IFR  
 Os anos de 2018 e 2019 são apenas projeções

Tal como atrás referido, o crescimento mais rápido tem sido observado na Ásia e Austrália/Nova Zelândia. Estas regiões incluem sobretudo o Japão e a Coreia, que são os maiores utilizadores desta tecnologia. Em número crescente estão também a China e a Índia. Em particular, a China tem vindo a ser recentemente um fornecedor de robôs de grande importância. Já em 2014 ultrapassou a Europa no seu conjunto de robôs instalados (mais de 57 mil da China, para 45,6 mil de toda a Europa). De acordo com a China Robot Industry Alliance (CRIA), a China

instalou mais de 68 mil robôs em 2015, sendo 20,4 mil de empresas chinesas e os restantes 48,1 mil de empresas estrangeiras mas grande parte fabricados na China<sup>29</sup>.

A Europa encontra-se como a segunda região de maior crescimento, sendo este número relativo sobretudo à Alemanha. A América inclui uma diversidade de países utilizadores de robôs industriais, em particular, os Estados Unidos, o México, o Brasil, o Canadá e a Argentina.

**Gráfico 5**  
**Fornecimento total anual de robôs industriais,**  
**2012-16 e previsão para 2018-2019 (IFR)**



Fonte: Vários relatórios anuais da IFR  
Os anos de 2018 e 2019 são apenas projeções. A projeção linear a tracejado é cálculo do autor

<sup>29</sup> Como é o caso da KUKA até ser adquirida por acionistas chineses.

Do ponto de vista de densidade, medida em termos do número de robôs industriais por cada 10 mil pessoas empregadas no setor de indústria transformadora, o valor global atinge os 69 robôs por 10 mil empregados. Mas, do ponto de vista regional, existem diferenças muito significativas. As economias mais automatizadas são a República da Coreia, Singapura, Japão e a Alemanha. A Coreia tem a maior densidade de robôs (531 por 10 mil empregados em 2015), tendo crescido muito rapidamente, pois tinha 241 robôs por 10 mil empregados em 2009. Os setores automóvel<sup>30</sup> e o de material elétrico e eletrônico são os principais setores que têm sido robotizados neste país. A seguir conta-se um país muito mais pequeno, Singapura, e que ainda assim tem uma densidade de 398 robôs. É um caso específico por não ter um volume muito elevado de mão de obra industrial e ter por sua vez um muito elevado número de robôs. O Japão encontra-se em terceiro lugar com 305 robôs, embora seja o país com maior densidade no setor de fabricação automóvel, com 1276 robôs por 10 mil empregados (ou seja, 1,3% do volume setorial de emprego). Em quarto lugar, encontra-se a Alemanha com 301 unidades e 1,15% de robôs em relação ao volume de emprego no setor automóvel.

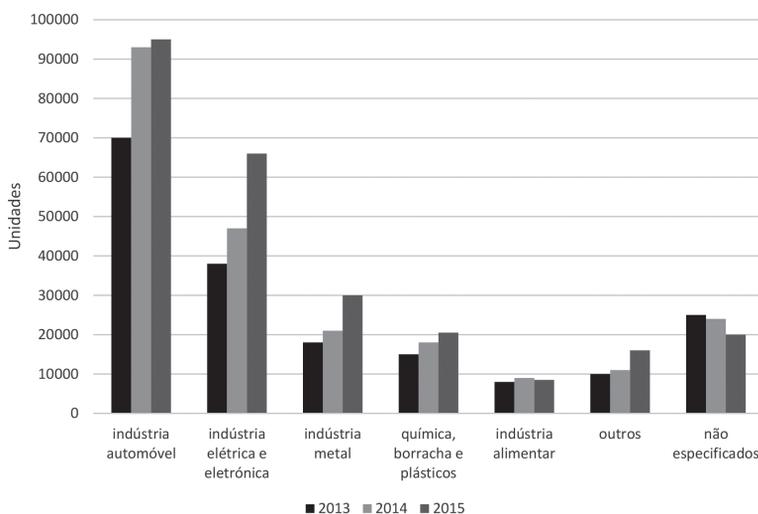
Para além destes países onde a robótica tem um peso muito grande do ponto de vista de mercado e de impacto no emprego, outros países têm igualmente um crescimento acentuado, embora ainda distante dos acima referidos. Os Estados Unidos têm uma densidade de 176 unidades, e a China atingiu as 49 em 2015, esperando-se que venha a ter 160 mil novos robôs em atividade em 2019.

---

<sup>30</sup> Neste setor, a Coreia atinge a densidade de 1218 robôs por 10 mil empregados em 2015, e é a segunda maior densidade mundial no setor de fabricação de meios de transporte.



**Gráfico 6**  
**Número de fornecimento anual de robôs industriais**  
**por setor industrial (estimativa 2013-2015)**



Fonte: IFR World Robotics, 2016

De assinalar que os Estados Unidos e a República da Coreia têm, logo a seguir ao Japão, as maiores densidades de robôs no setor da indústria automóvel com 1218 unidades por 10 mil empregados no setor em 2015. O Japão tinha, como vimos mais acima, 1276 unidades. Por comparação, a China tem uma densidade neste setor bastante inferior (392 unidades), embora trabalhassem neste mesmo setor 3,5 milhões de pessoas (incluindo componentes automóveis) em 2014 e produzindo 21 milhões de veículos em 2015.

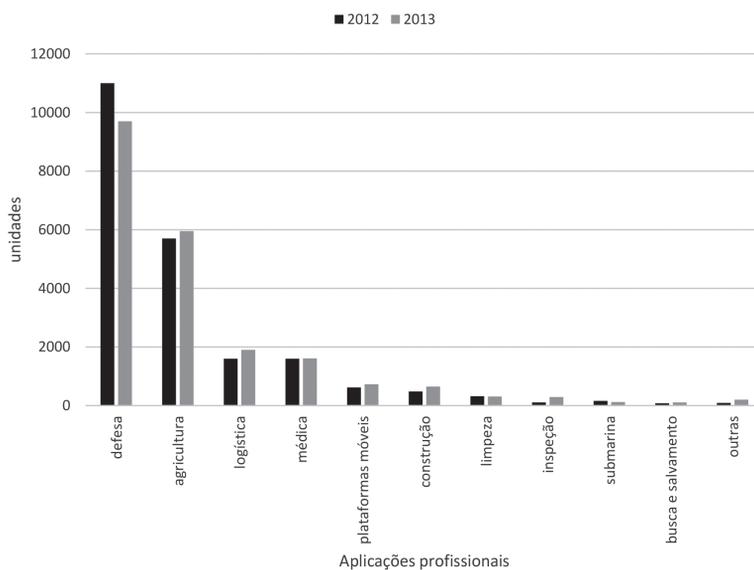
O segundo setor com maior número de robôs instalados é o da indústria elétrica e eletrônica, com quase 70 mil novos robôs instalados em 2015. E é neste setor que a Coreia tem a maior densidade de robôs (411 unidades). O Japão (213 unidades por 10 mil empregados), a Alemanha (170 unidades), Taiwan (159) e a Sué-



cia com 154 unidades encontram-se a seguir. A Itália, a Áustria e os Estados Unidos têm também uma densidade elevada. É provável que uma crescente tendência de automatização neste setor aumente essa densidade em alguns países. É curioso verificar que a China, apesar da importância deste setor, não se encontra tão automatizada, residindo a sua capacidade competitiva no custo do trabalho comparavelmente mais baixo que noutros países.

No entanto, outros campos de aplicação são também possíveis. Em particular poderemos considerar também as aplicações nos setores de serviços. Os dados mais recentes disponibilizados pela IFR referem-se a 2014 e incluem esta informação que a seguir se apresenta sobre a distribuição pelos diferentes subsectores na área dos serviços profissionalizados (IFR, 2014: 23).

**Gráfico 7**  
**Unidades de robôs de serviço para aplicações profissionais, 2012-13**



Fonte: IFR World Robotics, 2014

Como é possível verificar, as aplicações para a área da defesa (robôs militares) têm vindo a diminuir, mas ainda assim representam a maioria de robôs de serviço. Em segundo lugar, e com tendência para aumentar estão os robôs de aplicação em atividades agrícolas, robôs de recolha de leite, robôs para o setor da floresta e silvicultura, robôs para aplicações mineiras e para o espaço. São setores muito diferentes e que requerem equipamentos de natureza muito distinta. Mas têm sido agregados em termos de classificação em função do campo geral de aplicação. Mas o facto de a IFR apenas apontar para cerca de seis mil unidades em 2013 (dados mais recentes a que tivemos acesso) indica que é uma área que poderá crescer muito acentuadamente, embora sem o impacto em termos de emprego que os robôs industriais têm tido. Será, no entanto, uma área que irá conhecer um crescimento acentuado no futuro próximo, conforme indicamos mais adiante.

As outras aplicações têm vindo a aumentar, mas ainda não representam um volume assinalável de robôs. São os casos da logística (cerca de dois mil unidades em 2013 a nível do mundo inteiro), 1,7 mil no setor médico vendidos quer em 2012, quer em 2013 (embora a DaVinci indique ter instalados três mil robôs de cirurgia, o que parece ser um forte domínio do mercado). Outros setores têm apenas algumas centenas de aplicações introduzidas anualmente.

É na análise dos domínios de aplicação deste tipo de equipamento que nos apercebemos da importância da sua definição. Os campos de aplicação são muitos e variados. Apresentamos a seguir breves referências a alguns setores que, ou são já hoje bastante significativos em termos de utilização de robôs, ou tenderão a sê-lo dentro de poucos anos. Os setores de aplicação que nos parece que virão a ser mais significativos em termos de impacto real ou potencial no trabalho são:

- a) indústria automóvel;
- b) indústria eletrónica;
- c) indústria alimentar;
- d) saúde;
- e) novos domínios produtivos: minas, espaço, oceanografia, vestuário;
- f) aplicações na atividade de lazer: sexo, desporto, turismo.

As funções em que esses robôs podem ser aplicados e que mais recentemente têm vindo a ganhar maior importância do ponto de vista da especialização na sua construção são:

- a) cirurgia robótica;
- b) robôs nos cuidados médicos;
- c) robótica assistiva;
- d) serviços de busca e salvamento;
- e) logística e mobilidade.

Os agrupamentos destes setores ou campos de aplicação e funções divergem de autor para autor. O meu critério foi o de associar sobretudo tipos de equipamentos, ou novas áreas (produção ou lazer). Tentarei explicar cada um deles o mais brevemente possível, apenas para dar uma ideia sobre domínios em que esses equipamentos podem ser utilizados e, assim, informar o leitor acerca de um potencial impacto no emprego. Em todos os casos, a quantificação é quase impossível e provavelmente nem é necessária. Não sabemos exatamente quantos robôs existem em alguns destes setores, nem qual é o volume de emprego nesse setor. A informação provém de artigos e relatórios publicados sobre os desenvolvimentos alcançados na investigação deste tipo de aplicações. Muita dessa investigação aborda impactos potenciais ou aponta para aspetos normativos que podem delimitar a concepção da tecnologia. Alguma dessa informação pode também ser obtida a partir dos programas de trabalho de

investigação internacional, onde se apontam necessidades de maior investigação aplicada em domínios pouco conhecidos ou onde existam limitações significativas.

#### 4.3.1. Setores de aplicação

##### 4.3.1.1. Indústria automóvel

A indústria automóvel é o setor “tradicional” da aplicação da robótica. Como vimos acima, este setor é aquele onde mais robôs se encontram em funcionamento em todo o mundo. A sua aplicação começou também neste setor.

O primeiro robô foi um Unimation que realizava operações simples de manipulação. Foi instalado em 1961 numa fábrica da General Motors. Outras fábricas do setor automóvel começaram também a adquirir este equipamento. A patente do primeiro robô industrial foi proposto por George Devol em 1954 e aprovado em 1961. Esta patente foi o resultado do trabalho conjunto de George Devol e de Joseph Engelberger, que fundaram a Unimation. A empresa acabou por ser adquirida pela Westinghouse no final dos anos 1980. Mas o robô era nessa altura designado como um sistema de transferência programada de peças.



A fotografia acima apresentada é a do primeiro robô instalado numa fábrica da Ford, e agora no seu museu de Dearborn, nos Estados Unidos. A empresa associou a marca PUMA (Programmable

Universal Machine for Assembly) nos anos 1970 e produziu um dos mais populares braços robotizados.

Venderam mais tarde a licença da patente para a Kawasaki Heavy Industries e a GKN, que passaram a produzir o robô no Japão e na Grã-Bretanha.

Outra empresa norte-americana de fabricação de máquinas ferramentas, a Cincinnati Milacron, produziu o seu modelo T3 (derivado de The Tomorrow Tool) em 1974, que foi o primeiro robô controlado por um microcomputador. Esta empresa vendeu a sua unidade de robótica à ASEA no final dos anos 1970. Esta empresa sueca tornou-se numa das maiores produtoras de robôs a nível mundial produzindo o seu modelo IRB6 instalado na empresa de componentes para o setor automóvel Magnusson. Juntou-se à empresa suíça Brown-Bowery de maquinaria elétrica, e formaram a ABB. Esta e a alemã KUKA tornaram-se as duas principais empresas de robótica europeias<sup>31</sup>.

Os robôs de soldadura são também característicos do setor de fabricação e montagem de veículos automóveis.

Estes robôs são provavelmente os mais complexos de programar, pois o seu posicionamento requer uma grande precisão. O controlo destes robôs é feito por computador, permitindo a programação de sequências de tarefas, dos movimentos de robôs, dos atuadores externos, dos sensores e ainda da comunicação com dispositivos externos. A definição e parametrização de posições, as suas orientações, quadros de referência e trajetórias representam um dos elementos mais complexos no trabalho interativo com estes robôs. Existe, no entanto, uma alta repetibilidade e precisão de posicionamento das trajetórias<sup>32</sup>, pois a utilização destas máquinas ajusta-se à montagem de partes

<sup>31</sup> As outras empresas europeias eram a COMAU de Itália e a Staeubli-Faverge.

<sup>32</sup> Normalmente, a repetibilidade é de aproximadamente  $\pm 0,1$  mm e a precisão de posicionamento é da ordem de  $\pm 1,0$  mm.

importantes de componentes dos veículos automóveis, nomeadamente carroçarias ou plataformas estruturais. Estes robôs possuem geralmente um controlo lógico programável avançado (PLC) com ações de sincronização dentro da célula de trabalho.

Na atividade de montagem, os robôs são utilizados em tarefas que podem implicar alguma complexidade na sua conceção, mas que substituem operadores humanos em tarefas rotineiras, podendo, todavia, trabalhar em colaboração com eles caso o conjunto de tarefas isso permita. De todas as formas, a montagem (ou uma tarefa de montagem) define o processo de junção e acoplamento de peças fabricadas para fazer um produto completo, como um componente, uma peça complexa ou uma máquina. É uma operação importante no processo de fabricação de qualquer produto. A atividade de montagem implica a necessidade de conceber os produtos finais de modo a tornar possível a sua fabricação. É necessário ainda um planeamento da sequência do processo e uma análise de tolerância dimensional, ou ainda deverão ser concebidas anteriormente os elementos que fixam as peças.

A principal dificuldade de movimento robotizado de montagem está relacionada com o requisito de existência de uma alta precisão (ou de baixa tolerância) entre as peças num estado em que as peças estejam montadas. Como resultado, o movimento da montagem deve superar a incerteza para ser bem-sucedido. O movimento de conformidade é definido como o movimento restringido pelo contacto entre a parte segura pelo robô e a outra parte que se encontra algures num local que vai receber a peça manipulada pelo robô. A tolerância é muitas vezes inferior a um milímetro, e o movimento de montagem deve ser repetido muitas vezes de forma igual. O movimento de conformidade é desejável na montagem porque reduz a incerteza através da redução dos graus de liberdade da parte segura. Neste processo, o controlo do movimento de conformidade é muito importante pois permite a repetibilidade da montagem de precisão. Esse controlo deverá

ser automático, mas por vezes é necessário o envolvimento do operador humano de modo a que a conformidade se mantenha.

De acordo com Takata e Hirano, um sistema de montagem híbrido integra robôs e operadores humanos, e nesse sistema “os processos que requerem mudanças significativas são alocados para seres humanos enquanto os robôs lidam com as secções nos processos que não precisam de uma grande quantidade de investimento adicional para se adaptar às mudanças do produto” (Takata e Hirano, 2011: 9). As ações de montagem automatizada sem intervenção humana direta requerem um elevado nível de planeamento, sequenciamento e controlo.

A consideração do *feedback* sobre o estado de um robô no contexto de uma função de navegação global reduz a susceptibilidade à incerteza de deteção e atuação. Essa resposta em relação à interação permanente entre o robô, a peça que deve ser montada e o seu ambiente envolvente é tratada através de funções de computação. O principal desafio no planeamento do movimento de *feedback* é o cálculo de tal função de navegação, ou seja, do plano de movimento de *feedback*. Os métodos de computação destes movimentos podem ser feitos utilizando métodos exatos ou métodos aproximados baseados em programação dinâmica. A cooperação entre diferentes robôs, ou entre robôs e operadores humanos, a incerteza, os mecanismos de contacto, são alguns exemplos de complexidade da atividade de montagem de peças no setor automóvel realizada por robôs, e que requerem um desenvolvimento da capacidade de engenharia que se articula com os potenciais desenvolvimento da inteligência artificial.

Outra tarefa importante para a robótica no setor automóvel é a pintura. De facto, os robôs de pintura começaram a ser usados a partir de 1969 quando a empresa norueguesa Trallfa desenvolveu um robô para a pintura em *spray*. Hoje em dia estes robôs são utilizados em quase todas as fábricas com secção de pintura automóvel. Inicialmente, os robôs de pintura por pulverização

replicaram os movimentos copiados de trabalhadores humanos. Os processos de programação por aprendizagem de movimento foram desenvolvidos neste setor de produção automóvel. Hoje em dia, a maior parte da programação de robôs para a pintura é feita *offline*, pois os sistemas de programação de última geração oferecem simulações de processos integrados para otimizar a deposição, espessura e cobertura de tinta. No entanto, neste caso a precisão dos movimentos não é um critério muito importante para a sua programação. Este tipo de robôs, no entanto, deve atuar em ambientes fechados e controlados, onde a tinta pulverizada é depositada através de eletricidade estática, diminuindo assim o desperdício potencial nesta tarefa. Tem sido reivindicação dos trabalhadores neste setor, como no caso da fábrica da Autoeuropa da Volkswagen em Portugal, a sua substituição direta por robôs nesta atividade. Trata-se de um tipo de posto de trabalho que implica danos de postura significativos.

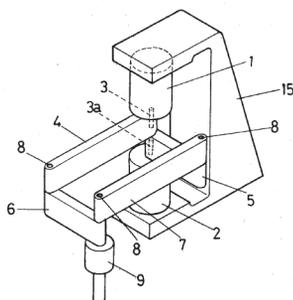
Neste setor vários elementos associados ao desenvolvimento da robótica têm sido testados e avaliados. Uma medida tomada hoje em dia para poder revelar a capacidade destas máquinas e a confiança que nela se pode ter é o chamado “tempo médio entre avarias” (ou *mean time between failure*). No caso das atividades de montagens de peças para produtos automóveis, este indicador é de cerca de 50 mil horas para robôs que se encontram em operação contínua 24/7.

#### 4.3.1.2. Indústria eletrónica

O setor de fabricação e montagem de produtos e componentes elétricos e eletrónicos é ainda um dos mais significativos em termos de aplicação da robótica. Em muitos casos podem existir similitudes com os robôs utilizados na indústria automóvel, mas a sua característica mais comum deve-se à necessidade de maior precisão nas tarefas de montagem e uma repetibilidade com um ritmo maior do que o da indústria automóvel. Nesta divi-

são setorial existem algumas incongruências involuntárias, pois uma área de negócios muito importante neste setor é o da produção de componentes para o setor automóvel. Todavia, a maior parte da indústria eletrônica está especializada na fabricação de componentes de processadores para programação de eletrodomésticos, na fabricação de autorrádios, de dispositivos de computação (*laptops, desktops, tablets*), de dispositivos de comunicação (de telemóveis a sistemas de telecomunicação), televisores e sistemas vídeo, ou seja, em geral, equipamento de tratamento de imagem. Todos estes equipamentos caracterizam-se por incluir elementos de dimensão muito pequena, pelo que a navegação do robô na sua montagem e o movimento de *feedback* requerem tolerâncias muito baixas.

Neste setor podemos conhecer a aplicação de diversos tipos de robôs. Mas o mais comum para tarefas de montagem em circuitos impressos, ou montagem simples de componentes, é o robô de tipo SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm), cujo esquema da patente apresentada por Hiroshi Makino (da Universidade de Yamanashi, Japão) em 1980 é o seguinte:



Logo no ano seguinte, a Sanyo, a Pentel e a NEC apresentaram os seus produtos com esta configuração. Hoje em dia várias empresas os fabricam, como são os casos e exemplos seguintes:



As aplicações deste tipo de robô são feitas sobretudo na atividade de montagem em empresas do setor de material elétrico, como o exemplo seguinte indica com outro tipo de robô.



#### 4.3.1.3. Indústria alimentar

Quando referimos este setor, podemos limitar-nos apenas à produção em série ou em fluxo contínuo de produtos e bens alimentares. Existem nestas atividades possibilidades de aplicações de robôs, sobretudo para tarefas de empacotamento. No entanto, será mais interessante compreender a sua aplicação a novos domínios, como a aquacultura, a fruticultura, a silvicultura, a produção de leite, os lanifícios. É dentro desta categoria que temos robôs especializados (*field robotics*) e que hoje em dia representam cerca de seis mil unidades vendidas anualmente, como acima verificámos.

As aplicações mais comuns têm sido na automatização da recolha do leite, na silvicultura (corte e manipulação de troncos

de árvores) e na tosquia de lã de ovelha. Novas aplicações que terão uma utilização mais distribuída serão nas áreas de colheita e empacotamento de fruta e na monitorização de áreas fluviais e florestais (em associação com sistemas autónomos). A aplicação em aquacultura e pecuária é interessante, mas o seu crescimento ficará muito dependente de uma clara demonstração da relação custo/benefício para que o mercado desta tecnologia possa vir a ser atrativo. A utilização de robôs em matadouros modernos tem vindo a crescer pelas mesmas razões que levaram à expansão dos robôs industriais em ambientes com condições de trabalho difíceis. A higiene, a carga física de trabalho, a precisão e rapidez, são motivos associados à opção por esse tipo de robôs que deverão estar em atividade colaborativa com operadores humanos.

De acordo com o *roadmap* da robótica para a área de agricultura, é dito que a principal oportunidade na aplicação desta tecnologia é a de “aumentar a eficiência das unidades agrícolas, mantendo os padrões económicos e ecológicos. A tecnologia robótica tem o potencial de transformar todo o tipo de agricultura, aumentando significativamente a recolha de dados para permitir uma melhor tomada de decisões. A chave para essas melhorias é a interoperabilidade e a comunicação entre máquinas que trabalham nas unidades agrícola e organizações fora delas. Tais conexões permitem melhorias no processamento de culturas colhidas, transporte eficiente e tempo de comercialização mais rápido. O crescente uso da tecnologia também afetará a qualidade de vida dos trabalhadores agrícolas e também poderá atrair uma geração mais nova para a agricultura. A tecnologia robótica tem potencial para estabelecer metas ecológicas para o uso de pesticidas, fungicidas, etc., alcançáveis em níveis mais baixos, além de contribuir para o bom manejo do solo”<sup>33</sup>.

---

<sup>33</sup> Ver *Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap For Robotics in Europe* (Release B 03/12/2015), p. 61

Neste mesmo documento são mencionadas ainda áreas onde a robótica pode ser bastante importante para a melhoria da produtividade das unidades agrícolas:

- Melhorar a interoperabilidade através da padronização (por exemplo: ISOBUS);
- Mover os processos de uma “fábrica” orientada para a produção em lote para um processo contínuo orientado para o fluxo produtivo (24 horas de disponibilidade para recolha de leite, e vacas oito vezes alimentadas por robôs em cada dia);
- Aplicação de estratégias de escolha de caminho para reduzir a compactação do solo;
- Interconexão de múltiplos sistemas autónomos para melhorar a qualidade e a eficiência;
- Interoperabilidade de máquinas com diferentes graus de autonomia. Esse recurso poderá permitir a substituição das ferramentas clássicas passo a passo por outras “inteligentes” (por exemplo, um trator inteligente ainda terá de funcionar com um arado simples);
- Desenvolvimento de sistemas de assistência ao condutor que sugerem ações corretivas, deixando a responsabilidade com o agricultor. No futuro, desde que haja provas legais de confiabilidade, as ações corretivas podem ser tomadas diretamente pelo sistema;
- Possibilidade de aumentar as comunicações, permitindo a operação da rede;
- Aumento da eficiência energética através do uso otimizado de máquinas;
- Desenvolvimento de sistemas e estratégias que reduzam o uso de antibióticos e outros bactericidas, impulsionando assim uma agricultura ecologicamente correta.

Com efeito, a automatização na agricultura vai implicar uma maior utilização de sensores e de processamento de dados. Uma parte substancial deles estará relacionado com a aplicação de

máquinas autónomas. Outra parte será acerca do controlo dos produtos que virão a ser manufacturados para fins alimentares (animais, vegetais, frutos, cereais) e da informação acerca do terreno agrícola ou das instalações de aquacultura também. A produção para a indústria alimentar também terá de recorrer a sistemas de armazenagem que podem incluir robôs convencionais. Assim como irá certamente utilizar formas de tratamento de grandes quantidades de dados que podem monitorizar a produção e permitir decisões adequadas face a condições que podem mudar em curto espaço de tempo. A necessidade de atuar em diferentes níveis pode implicar um uso mais sistemático de equipamentos modulares de grande autonomia, em vez de grandes equipamentos únicos. Isso implicaria então uma maior capacidade de interação entre máquinas e humanos. Em termos de mercado<sup>34</sup>, parecem existir cerca de 30 mil robôs de recolha de leite, e cerca de 15 mil robôs de limpeza de instalações agrícolas.

Existem ainda as aplicações robotizadas que se concentram na monitorização das unidades criação de peixes e na condição da água. O uso de sistemas autónomos para monitorizar o tamanho e o tipo de cardume, bem como tendências a longo prazo têm o potencial de alterar a aplicação da política de pesca. A tecnologia robótica também pode contribuir para a implementação da política de pesca através da monitorização das práticas de pesca, embora este campo ainda se encontre numa fase ainda muito inicial.

---

<sup>34</sup> Informações contidas no acima referido *roadmap* da robótica europeia realizado para o programa Horizonte 2020.

#### *4.3.1.4. Novos domínios de atividade produtiva: minas, espaço, oceanografia, vestuário*

Na área da atividade produtiva, alguns setores tradicionais podem conhecer rápidas alterações devido à potencial utilização de robôs.

O setor mineiro começa a utilizar sistemas automatizados de apoio com capacidades sensoriais avançadas. Aí podem ser aplicados sistemas de operação em controlo remoto ou de mineração teleoperada. A condução assistida de veículos de transporte, ou a automação de veículo também tem sido utilizada. As vantagens apontadas têm sido as de melhoria da segurança, melhoria da eficiência de consumo de combustível, aumento da produtividade, redução da manutenção não programada, melhoria das condições de trabalho, melhoria da utilização dos veículos e redução da fadiga e desgaste dos motoristas nas operações de mineração. Entre as várias experiências, pode destacar a iniciativa Mine of the Future<sup>35</sup> da empresa multinacional Rio Tinto. Nessa operação na Austrália a empresa aplicou sistemas automatizados de transporte e de perfuração, com um avançado centro de operações que controla todo o sistema. As comunidades que apoiam os trabalhadores desfavorecidos que dependem de posições de mineração mais simples e básicas estão preocupadas e estão a pedir responsabilidade social à medida que as empresas de mineração têm vindo a adotar cada vez mais tecnologias de automação. Estas empresa prometem aumentar a produtividade em face da queda dos preços das mercadorias. As empresas de mineração avessas ao risco também estão relutantes em comprometer grandes quantidades de capital com uma tecnologia não comprovada, preferindo mais frequentemente entrar na área da automação em níveis mais baixos e mais baratos, como, por exemplo, o controlo remoto.

<sup>35</sup> <http://www.riotinto.com/australia/pilbara/mine-of-the-future-9603.aspx>.

A empresa de equipamento Atlas Copco descreve os seus sistemas de monitorização como aqueles que “fornecem acesso fácil, enquanto os sistemas de controlo oferecem funcionalidade de assistência ao operador, melhorando o valor da máquina em uso”. Os exemplos incluem, perfuração automatizada, manuseio de lança automática, bloqueios automáticos de controlo de tração de nivelamento. Todos conduzem a uma maior segurança, previsibilidade e produtividade. A autonomia da máquina é definida quando temos uma máquina completa em modo autónomo, e também quando uma máquina ou máquinas são controladas remotamente ao mesmo tempo. A autonomia do processo é quando as máquinas começam a interligar-se numa perspetiva de trabalho, ou seja, de interoperabilidade do processo. Por exemplo, a perfuração de produção, tanto a superfície como a subterrânea, que se comunicam com equipamentos de carga, carregadores e veículos pesados. Finalmente, a integração do sistema é uma completa integração de processos e sistemas em toda a cadeia de valor. Isso inclui a análise avançada, o posicionamento em tempo real, a gestão de operações e a gestão e planeamento total dos ativos<sup>36</sup>.

No espaço, diversas experiências têm sido desenvolvidas para permitir a manutenção de estações orbitais espaciais ou para realizar o transporte de equipamentos e peças entre diferentes estações orbitais. Como é referido no sítio da Organização Espacial Europeia, os sistemas robotizados são usados em atividades laborais na baixa órbita terrestre, principalmente para a construção e operação da Estação Espacial Internacional (ISS)<sup>37</sup>. Estes sistemas executam capacidades de manipulação e de transporte que possibilitam a montagem de peças e equipamentos, a sua

<sup>36</sup> Ver <https://www.atlascopco.com/en-us/mrba/industry-solutions/mining/automation> (19/10/2017).

<sup>37</sup> Ver [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Engineering\\_Technology/Automation\\_and\\_Robotics/Applications\\_in\\_Earth\\_Orbit](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Automation_and_Robotics/Applications_in_Earth_Orbit) (21/10/2017).

operação e manutenção, nomeadamente da componente exterior dos laboratórios espaciais. Estes elementos podem incluir desde pequenos braços robotizados que equipam equipamentos científicos até grandes braços capazes de manipular grandes dispositivos estruturais que constroem a referida ISS. Além destes equipamentos orbitais existem as aplicações robotizadas de exploração planetária. No caso da exploração de Marte a ESA utiliza penetrómetros e toupeiras robotizadas para exploração subterrânea, “rovers” (rastreados, com rodas e pernas) e saltadores para exploração de superfície, e ainda “aerobôs” (balões, veículos espaciais não rígidos, planadores e saltadores) para exploração aérea<sup>38</sup>. No caso da exploração lunar, várias agências internacionais estiveram envolvidas com veículos autónomos, em particular a NASA (EUA) com o projeto Surveyor, e a União Soviética com o projeto Luna. A exploração lunar será provavelmente aquela que virá a ter maior variedade de aplicações robotizadas autónomas ou telecomandadas. Outras aplicações em corpos celestes têm envolvido cooperações entre a ESA e a NASA, ou a JAXA<sup>39</sup> para outros planetas (Mercúrio e Vénus) e para outros satélites planetários ou para cometas. Algumas aplicações que foram desenvolvidas no âmbito de experiências no domínio dos sistemas autónomos, ou de robôs para aplicação em exploração de minérios ou subaquáticos e aéreos, têm vindo a ser desenvolvidos neste contexto. A agência alemã DLR tem desenvolvido robôs colaborativos para poderem vir a ser utilizados em estações espaciais ou orbitais para permanências de longa duração. No seu *roadmap*, a NASA também considera esta possibilidade. Os problemas associados dizem respeito aos efeitos nos processos de telecomunicação com controlo desde o nosso planeta devido à discrepância temporal causada pela dis-

<sup>38</sup> [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Engineering\\_Technology/Automation\\_and\\_Robotics/Applications\\_for\\_Planetary\\_Exploration](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Automation_and_Robotics/Applications_for_Planetary_Exploration) (21/10/2017).

<sup>39</sup> Agência de Exploração Espacial Japonesa (JAXA).

tância de comunicação ou à interferência de outros objetos ou radiações.

Nos oceanos existem sobretudo três áreas de desenvolvimento futuro, a saber: a mineração, as pescas e a monitorização. Na mineração subaquática (em especial em fundo oceânico), além dos aspetos específicos relacionados com a robótica de mineração, há ainda a forte pressão das colunas de água sobre o equipamento e o ambiente marinho corrosivo. Principalmente, devido ao sal e também ao facto de se tratar de equipamentos com componentes elétricos e eletrónicos.

No caso do vestuário existem algumas aplicações que estão a ser desenvolvidas com grande interesse para a indústria. Não tanto na fase de produção, onde poderão ser utilizados robôs industriais ou de logística em condições ditas convencionais, mas sobretudo na fase de comercialização ou de conceção. De acordo com uma empresa japonesa de robótica, Flower Robotics, “para que a sociedade aproveite os robôs humanoides como produtos, o estabelecimento de ambientes em que eles serão usados é o mais importante. Concentrando-se em manequins que são usados em montras, desenvolvemos uma tecnologia robótica que funciona para promover de forma eficiente roupas para passeantes e potenciais clientes ocasionais. Os sensores visuais capturam a linha de visão do cliente, um sistema de aprendizagem desenvolvido de forma independente regista-o e os dados são reunidos sobre o que aparenta receber a maior atenção ao longo do tempo. É um sistema no qual o robô determina o melhor ângulo e movimento para um determinado espaço e se ajusta a ele. No que diz respeito à nossa visão empresarial de ‘fazer robôs uma parte da paisagem quotidiana’, este produto tem sido substancialmente bem-sucedido”<sup>40</sup>. A mesma empresa desenvolveu uma aplicação baseada na anterior, mas

---

<sup>40</sup> Consultado em <http://www.flower-robotics.com/english/robots.html>, 20/11/2017.

apenas para servir de mostruário de joalheria, e diz, “com o mesmo sistema de aprendizagem do Palette [robô para montra de vestuário], este possui um algoritmo que converte a linha de visão do cliente no seu próprio movimento e tornou-se uma parte indispensável de inúmeras lojas como parte de seus ambientes de exibição” (*idem*). Outras aplicações foram desenvolvidas como MarionetteBot para a cadeia de vestuário United Arrows, também japonesa<sup>41</sup>.

#### 4.3.1.5. Novos setores de aplicação na atividade de lazer: sexo, desporto, turismo

As atividades de lazer podem ser muito diversificadas. Utilizamos aqui apenas três sugestões com base nos estudos acerca dos potenciais de desenvolvimento e de maior disseminação de aplicações: sexo, desporto e turismo. As aplicações em atividades lúdicas têm sido experimentadas, mas na maioria dos casos servem para investigação laboratorial (futebol robótico, aplicações de realidade aumentada). Já há mais de uma década, uma empresa britânica (RoboCoaster) vem colocando tecnologia industrial de robótica para uso nos campos de entretenimento e lazer. Em colaboração com a KUKA, fabricante alemã de robôs industriais, esta empresa desenvolveu um robô certificado para utilização em ambiente de lazer em 2003 e vendeu mais de 200 unidades como sistemas de passeio para parques de diversões em todo o mundo. Ao mesmo tempo, esses robôs da RoboCoaster<sup>42</sup> apresentaram em vários filmes de ação, que é mais um setor que oferece oportunidades de negócios para a robótica. O engenheiro personalizado e os ambientes imersivos de exibição de *média* são áreas de crescimento para a aplicação de robôs indus-

<sup>41</sup> Consultado em <http://thebwd.com/united-arrows-marionettebot-interactive-window-display/>, 20/11/2017.

<sup>42</sup> Consultado em <http://www.robocoaster.com/> (20/11/2017).

triais, em combinação com a tecnologia audiovisual mais avançada e a imagem 3D.

As aplicações para robôs sexuais têm ganho atenção dos *media* em todo o mundo. Parece que existe um potencial de desenvolvimento em sociedades onde existe maior isolamento social de pessoas com rendimentos médio-altos em países economicamente desenvolvidos. Conhecem-se sobretudo os casos do Japão, da Coreia e dos Estados Unidos<sup>43</sup>. A sua generalização parece ainda ser limitada, embora potencial para os países escandinavos.

Aplicações no domínio do desporto podem vir a ser mais significativas, não com funções de substituição, mas sim de complementaridade. Frequentemente, esta complementaridade pode ser associada também à manutenção desportiva ou recuperação de acidentes. Neste sentido, poderemos classificar este tipo de robôs dentro das categorias de cuidados médicos, ou de tecnologias assistenciais. A referência a atividade desportiva deve estar relacionada com a atividade humana que pode ser auxiliada por estes equipamentos, e não a uma atividade competitiva entre robôs, como os jogos de futebol robotizado (ou RoboCup) para desenvolver a autonomia de funcionamento e a interação entre robôs.

O turismo é provavelmente o setor onde um maior número e maior diversificação de aplicações pode ser possível. Podemos conhecer exemplos sobretudo de sistemas autónomos para ajuda e guia de informação. Vários museus nos Estados Unidos, na Europa e na Austrália estão a experimentar robôs e sistemas de telepresença para oferecer uma visualização remota das suas coleções. Os museus, ou partes dos museus, são tornados acessíveis por esses meios para os deficientes, os doentes e pessoas que não podem sair de casa, que não podem visitá-los de qualquer outra forma. Embora a democratização do acesso seja um

---

<sup>43</sup> Consultado em <https://www.sexrobot.com/> (12/9/2017).

valor primário da telepresença, não é a única, e os robôs de telepresença podem oferecer uma variedade de novos serviços. Por exemplo, no Museu Nacional da Austrália alguns robôs<sup>44</sup> têm diferentes rotas projetadas de acordo com os currículos escolares dos visitantes, e também podem personalizar seus próprios passeios para diferentes utilizadores. Ao mesmo tempo, a British Tate Gallery experimentou recentemente o seu programa After Dark<sup>45</sup>, no qual a pessoa que usava remotamente o robô poderia visitar as salas de exibição em semiescuridão, depois de o museu fechar as portas. O facto de essas televisitantes permitirem também a interação com guias, especialistas e outros visitantes vai abrir sem dúvida o caminho para que outras atividades novas e originais possam acontecer neste tipo de instalações culturais. Nos próximos anos, todos os principais museus do mundo irão provavelmente oferecer algum tipo de atividade facilitada por robôs de telepresença.

#### 4.3.2. Funções de aplicação

##### 4.3.2.1. *Cirurgia robótica*

A cirurgia robótica pode ser dividida em três tipos, que dependem do modo como é realizada a interação com o cirurgião durante o procedimento de operação em pacientes:

- sistema de supervisão controlada;
- telecirurgia;
- sistema de controlo partilhado.

---

<sup>44</sup> Consultado em <http://www.nma.gov.au/engage-learn/school-programs/digital-outreach/robot-tours> (20/11/2017).

<sup>45</sup> Consultado em <http://www.afterdark.io/> (20/11/2017).

Num sistema controlado por supervisão, os procedimentos de cirurgia são executados exclusivamente pelo robô, que deve ter as ações de intervenção pré-programadas. Um sistema telecirúrgico, também conhecido como cirurgia remota, exige que o cirurgião manipule os braços robóticos durante o procedimento, em vez de permitir que os braços robóticos funcionem a partir de um programa predeterminado. Este é o tipo de aplicação mais utilizado na cirurgia robótica através dos conhecidos sistemas DaVinci. Com sistemas de controlo compartilhado, o cirurgião executa o procedimento com o uso de um robô que oferece manipulações de mão constante do instrumento.

De acordo com o *roadmap* europeu de robótica elaborado pelo programa Horizonte 2020, o mercado de dispositivos de robótica cirúrgica movimentou cerca de 2,4 mil milhões de dólares em 2011 e deverá atingir 8,5 mil milhões até 2018, à medida que os dispositivos, sistemas e instrumentos da próxima geração forem introduzidos. O mercado de robôs cirúrgicos está fortemente dominado pelos EUA, cujo principal fornecedor é a empresa Intuitive Surgical. No entanto, um número limitado de empresas dos EUA apresentam também um potencial de crescimento, como a Hansen Medical, a Accuray, a Stereotaxis e a Restoration Robotics. Existem poucas empresas europeias ativas, tais como a Acrobot (Reino Unido), entretanto adquirida pela Intuitive Robotics. Outros sistemas incluem o sistema ROSA (MedTech), o robô iSYS (iSYS MedizinTechnik), Freehand (Freehand 2010 Ltd), Novalis (Brainlab), o suporte de endoscópio Viky e o instrumento portátil robótico Jaimy (Endocontrol) e Neuromate (Renishaw). Os grandes construtores europeus de robôs KUKA e ABB também se mostram muito interessados nesta área de negócio.

O mercado robotizado cirúrgico é também dominado pelos EUA, onde 70% dos sistemas instalados estão nesse país (cerca de três mil sistemas são DaVinci). A Europa tem cerca de 20% da base instalada, os 10% restantes podem ser encontrados nas

regiões do Médio Oriente. Espera-se que o mercado cresça a uma taxa de cerca de 5%<sup>46</sup>. Um dos primeiros sistemas de cirurgia robotizada foi o Artemis, desenvolvido pelo Karlsruhe Institute of Technology (Alemanha) em 1990-1994. Igualmente, a primeira cirurgia transatlântica, conhecida como “operação Lindbergh”, teve lugar em 2001 entre Estrasburgo e Nova Iorque, dirigida por uma equipa de cirurgiões franceses.

Na maioria dos robôs, o modo de trabalho pode ser escolhido para cada intervenção separada, dependendo da complexidade cirúrgica e das particularidades do caso. Inclusivamente, a interface visual que o médico dispõe na cirurgia remota permite a utilização de imagens de duas dimensões (2D) ou de 3D conforme a necessidade ou facilidade encontrada pelo seu operador.

A cirurgia robótica oferece, no entanto, alguns problemas que decorrem da garantia do seu funcionamento. Geralmente, estas aplicações são apresentadas como não tendo qualquer defeito e nunca avariarem. Não se conhecem ocorrências inesperadas ou mesmo acidentes com a utilização destes equipamentos. Através da leitura de estudos empíricos sabe-se que eles ocorrem, mas não existem estatísticas objetivas sobre essas situações. Os médicos responsáveis pela sua utilização têm formação intensiva prévia e as empresas fornecedoras garantem contratualmente a qualidade e a capacidade do sistema. As empresas de seguros estão também a acompanhar todos os desenvolvimentos possíveis, assim como as unidades dos sistemas públicos e privados de saúde.

Para além dos eventuais problemas de carácter técnico, a aplicação desta modalidade de cirurgia pode apresentar problemas mais complexos associados à organização do trabalho e divisão de tarefas nas salas de operações, e à definição das funções de

---

<sup>46</sup> Ver *Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap For Robotics in Europe* (Release B 03/12/2015), p. 47.

trabalho. As chamadas salas híbridas de operação (HOR)<sup>47</sup> combinam imagiologia médica com procedimentos avançados de cirurgia. Uma sala de operação “atenta” com sistemas automatizados deverá monitorizar todas as ações do procedimento cirúrgico e identificará a situação atual do plano de operação. Assim, deverá oferecer o melhor apoio para o cirurgião no momento certo. Isso pode evitar uma sobrecarga cognitiva do cirurgião e da sua equipa. Aqui, poderemos verificar uma combinação de integração de robôs com interfaces indivíduo-máquina, com fluxo de trabalho cirúrgico, percepção e cognição.

#### *4.3.2.2. Os robôs nos cuidados médicos*

Os robôs utilizados em atividades de cuidados médicos são substancialmente diferentes daqueles aplicados para cirurgias. A robótica médica teve início na KUKA há mais de 15 anos, através da utilização de robôs de grande porte (carga superior a 200 kg). Esta empresa desenvolveu sistemas de suporte de pacientes que, por exemplo, posicionam pacientes para a terapia de partículas, equipamentos para hipoterapia robótica ou aparelhos “leg press” inteligentes para atletas de alto desempenho (projeto HaiLeg da KUKA). Basicamente, trata-se de robôs industriais adaptados para uma utilização em ambiente hospitalar, automatizando algumas funções que exigem recursos que dependem de forte carga física. Mas hoje em dia existem também robótica de reabilitação que cobre algumas próteses e dispositivos como exoesqueletos robotizados, ou ortoses, que treinam, apoiam e substituem atividades, estruturas ou funções corporais deficientes. Trata-se de dispositivos usados em aplicações clínicas que estabelecem os parâmetros e monitorizam o progresso dos pacientes.

---

<sup>47</sup> Hybrid Operating Rooms.

Existem também sistemas capazes de movimentar outros equipamentos médicos pesados, como por exemplo o Siemens ARTIS pheno. Este sistema movimenta um arco de raio-x em C ao redor do paciente, possibilitando a obtenção de registros 3D por tomografia computadorizada diretamente na sala de operação. Algumas aplicações também permitem utilizar equipamentos de ressonância magnética (MRI) para poder auxiliar também a atividade de cirurgia numa sala de operações sem obrigar os pacientes e terem de se movimentar para outras salas especializada.

Outro exemplo ainda é o sistema CyberKnife da KUKA que direciona, de maneira precisa, um feixe de alta intensidade sobre o tumor. Com um leito opcional, o CyberKnife combina isso de maneira móvel ao sistema de apoio ao paciente. No domínio da robótica de reabilitação, as empresas de destaque são a Hocoma, a Reha Technology e a Tyromotion. Os veículos autoguiados (AGV) são usados em alguns grandes hospitais. As iniciativas para reduzir o tamanho dos AGV que são atualmente utilizados e melhorá-los para sistemas mais flexíveis devem permitir torná-los mais compactos e capazes de navegar não só em áreas separadas, mas também em áreas públicas. Tais iniciativas carecem ainda de desenvolvimento tecnológico, e são atualmente objeto de projetos de investigação em várias regiões do mundo. Podem ser observados alguns casos de desenvolvimentos japoneses de robôs que operam em edifícios públicos para limpeza e transporte. Alguns deles são utilizados em ambiente hospitalar, como o robô de entrega hospitalar Hospi da Panasonic, que se baseia em tecnologia europeia. Existem outros sistemas de apoio adicionais para pessoal de cuidados de saúde que estão sendo desenvolvidos no Japão, como, por exemplo, um levantador robótico da Muscle Corp ou um assistente de *stand by* da Toyota. Os robôs de apoio emocional, como o conhecido Paro, tiveram as suas origens no Japão e podem ser também encontrados em todo o mundo.

As aplicações de robótica social, de acompanhamento de idosos ou de apoio a crianças com problemas de aprendizagem têm

vindo a ser utilizados de um modo extensivo em muitos países. É, no entanto, uma área que ainda requer desenvolvimento técnico e onde os domínios de implicações sociais, legais e éticos são muito importantes. São geralmente robôs que possuem alguma autonomia e permitem uma relação pessoal com os pacientes devido a componentes de visão e som que possibilitam diálogos simples. São frequentemente utilizados em unidades de saúde para idosos, ou em unidades para tratamento de crianças com diversas histórias clínicas. A Europa foi relativamente pioneira com a aplicação do robô Spartacus, na década de 1980, e o primeiro protótipo Care-O-bot foi introduzido em 1998.

Estamos, assim, perante equipamentos que são desenvolvidos a partir das aplicações industriais e adaptados a ambientes hospitalares ou mesmo salas de operação, embora não sejam robôs onde o requisito de precisão seja o critério central. Quando esse critério está presente, as unidades de saúde podem optar pelos robôs de cirurgia de elevada precisão ou de telecirurgia. Não são estes os casos. Por outro lado, os robôs de companhia têm uma função de apoio ao cuidado médico, não estando concebidos para a substituição dos técnicos de saúde, mas para complementar a sua atividade.

De acordo com as conclusões de um estudo de Compagna e Kohlbacher (2015) os técnicos que desenvolvem robôs para cuidados médicos a idosos não se interessam ou “têm falta de empatia pelas necessidades e ideias dos idosos”, pois deveriam ser “confrontados com os contextos e campos de uso e com os vários tipos de pessoas que residem nestes campos” (Compagna e Kohlbacher, 2015: 30).

#### 4.3.2.3. *Robótica como tecnologia assistiva*

De acordo com o *roadmap* da robótica para o programa Horizon 2020, a divisão entre robótica de cuidados médicos e as tecnologias assistenciais reside na área de consumo. Num

ambiente clínico, os robôs são controlados e mantidos por pessoal clínico especialmente treinado e formado. Noutros ambientes (por exemplo, industrial ou de serviços) não é necessário pessoal clínico. Mas em ambos os casos a robótica tem uma função de apoio ao ser humano para realizar cabalmente atividades devidamente estabelecidas. Uma das aplicações mais comuns da tecnologia assistiva é uma ferramenta para ser usada por pessoas com deficiência. Estas tecnologias podem ser usadas para melhorar as instâncias transitórias da deficiência (cf. Bodine, 2013: 3). No entanto, são poucos os casos em que essas tecnologias recorrem aos princípios da inteligência artificial ou que incluem componentes de programação. São geralmente equipamentos que permitem a condução ou orientação de operadores humanos, alguns deles com deficiências motoras.

No que diz respeito a serviços de reabilitação com recurso a tecnologias e a dispositivos para pessoas com deficiências físicas, podem ser encontrados problemas que não dizem apenas respeito à dimensão técnica. Num estudo acerca de cadeiras de rodas para paraplegicos ou com problemas músculo-esqueléticos que pretendem resolver problemas de mobilidade humana, Law (2015: 57) verifica que estas têm já capacidades acopladas de ajudas com motores elétricos e de sistemas simples de controlo de navegação, e também de controlo por voz. No entanto, não existem ainda tecnologias deste tipo de sensores e interfaces programáveis que associem a função cognitiva do utilizador com a função mecânica da cadeira.

Normalmente a conceção e desenvolvimento destas tecnologias considera apenas a necessidade de restabelecer as funções mecânicas de órgãos amputados ou inexistentes. Alguns dos maiores fornecedores de próteses de membros superiores e inferiores autoalimentados (ou com autonomia de funcionamento) estão localizados na Europa, como por exemplo a Otto Bock, a RSL Steeper, a Touch Bionics e a Ossür. A investigação europeia no domínio das próteses é considerada muito avançada.

No entanto, outras utilizações da robótica como tecnologia assistencial podem ter interesse em ambientes de trabalho industrial. Por exemplo, programas-piloto recentes na Fábrica de Montagem de Michigan e na Fábrica de Flat Rock (ambas nos Estados Unidos), onde exoesqueletos do corpo superior foram financiados pelo Sindicato dos Trabalhadores do Setor Automóvel (UAW)<sup>48</sup> e trazidos para reduzir lesões no ombro em tarefas aéreas, como a montagem da estrutura inferior de um Mustang, como a fotografia seguinte mostra:



Fonte: John Hitch, Ford Exoskeleton Trial Strengthens Workers in Body and Spirit, *New Equipment Digest*, 10 de novembro de 2017 [<http://www.newequipment.com/print/5866>]

Nesse artigo da *New Equipment Digest*, refere-se que de acordo com a Biblioteca Norte-Americana de Medicina, um músculo rotador rasgado do ombro poderia custar em média 26 mil dólares e levar sete meses para a reabilitação. “Não são cargas elevadas que causam essas lesões insidiosas em tecidos moles como o ombro”, diz um especialista de ergonomia da Ford. “O que pode ser prejudicial são as cargas leves e repetitivas. Uma carga baixa na palma da mão transfere-se para um torque muito alto no ombro.” Existem, contudo, ainda alguns problemas de

<sup>48</sup> Union of Auto Workers.

desconforto quando usam este exoesqueleto, e não se pode dizer que seja um robô na verdadeira aceção do conceito. Contudo, este equipamento permite compreender uma utilização que não implica uma exclusividade da robótica assistencial para pessoas com deficiência. Neste caso, trabalhadores com tarefas difíceis e rotineiras podem também ser considerados pessoas com necessidades especiais que podem recorrer a esta tecnologia.

#### 4.3.2.4. Robôs na busca e salvamento

Os robôs para este tipo de aplicações são utilizados sobretudo em situações de combate a fogos e de situações de desastres naturais ou provocados. São também robôs de vigilância e prevenção ou de segurança.

Este tipo de aplicação tem conhecido o desenvolvimento de novos conceitos, quer na área de comunicação, quer na de locomoção. São robôs que adotam capacidades semelhantes a insetos para melhor se deslocarem em ambientes não estruturados na sequência de terremotos ou outras calamidades ou acidentes. Conceitos de “*swarm robotics*” implicam formas de comunicação e posicionamento entre robôs móveis.

O Japão tem sido um dos países onde a investigação nesta área mais tem avançado. A elevada percentagem de investimento em ciência e tecnologia, aliada ao facto de este país não orientar os seus recursos científicos para a investigação militar e também ao facto de aí ocorrerem com alguma frequência movimentos tectónicos com consequências desastrosas, faz com que se tenha orientado para esta especialização tecnológica. Em várias universidades japonesas existem vários laboratórios com investigação muito avançada sobre este tipo de aplicações experimentais. O objetivo tem sido o de capacitar as equipas de socorro e salvamento de tecnologia capaz de avaliar a situação em ambientes instáveis e completamente desestruturados de modo a aumentar a capacidade de organizar os serviços de emergência e de salva-

mento. Segundo os seus especialistas, trata-se de um desenvolvimento para uma tecnologia com aplicação humanista e não para fins militares<sup>49</sup>.

Muitas aplicações são de vigilância e manutenção em fábricas e instalações de fabricação. Sobretudo, estes sistemas de inspeção incluem robôs de inspeção de centrais de energia nuclear. Como sabemos, este tipo de aplicações ainda tem diversos problemas associados. O mais importante é a dificuldade de funcionar em ambientes com elevada radiação. Com efeito, em 2011, um grande terramoto, e consequente *tsunami*, teve um grande impacto que gerou também uma crise nuclear. Organizações internacionais correram para ajudar os residentes devastados do país e descobrir como limpar Fukushima Daiichi, a central de energia nuclear destruída. Os robôs continuam a ser como que fritos nas suas missões, literalmente devido a danos causados pela radiação, ou impedidos de continuar ativos no local acidentado, desperdiçando por isso dinheiro e tempo preciosos. Depois de várias tentativas falhadas com o Quince 1, que realizou várias missões até se desligar dos cabos de comunicação, e com os robôs da Hitachi e da Toshiba, concluiu-se que ainda hoje não existe capacidade de lidar com este tipo de situação recorrendo a robôs que possam fazer a monitorização de uma instalação acidentada deste tipo.

De acordo com Kim e Jang, “existem três requisitos essenciais para que um sistema de robôs possa realizar com sucesso o monitoramento da condição de acidente: (1) A comunicação de dados sem fio entre o robô e um controlo remoto não deve ser desconectada quando o robô se desloca para dentro do edifício de contenção. Deve ser assumido que paredes de cimento podem interromper sinais de ondas de rádio. (2) O robô deve ser estável ao caminhar num piso irregular, como grades e escadas. O robô

---

<sup>49</sup> Informação obtida em entrevista realizada na Universidade de Quioto em 2012, pelo Prof. Fumitoshi Matsuno (24/09/12).

deve recuperar facilmente uma posição vertical se cair por causa de um obstáculo irregular no chão. (3) O robô deve reconhecer a sua posição em condições quando nenhum sinal de GPS (Sistema de Posicionamento Global) está disponível” (Kim e Jang, 2017: 633). Qualquer uma destas condições representa uma dimensão de obstáculos que ainda não foram ultrapassados do ponto de vista experimental nem aplicados em ambientes desestruturados, como os que ocorrem após um sismo ou um acidente grave. Cada um destes requisitos tem sido objeto de investigação intensa, mas ainda sem os resultados desejados, embora seja notável a variedade de protótipos e de soluções propostas.

Entre os robôs de busca e salvamento, os que podem vir a desenvolver novas aplicações são os chamados “robôs aéreos”. As aplicações hoje desenvolvidas para este tipo de robôs são as seguintes:

- Detecção remota, como o manuseio de um *pipeline*, monitorização de linha elétrica, amostragem vulcânica, mapeamento, meteorologia, geologia e agricultura, bem como a deteção de minas não explodidas.
- Resposta a desastres, como deteção química, monitorização de inundações e gestão de incêndios florestais.
- Vigilância enquanto aplicação da lei, monitorização do trânsito, patrulhamento costeiro e marítimo e patrulhas de fronteira.
- Pesquisa e resgate em áreas de baixa densidade ou difíceis de alcançar.
- Transporte, incluindo transporte de pequena e grande carga, e possivelmente transporte de passageiros.
- Comunicações de voz, imagem e dados, bem como unidades de transmissão para televisão ou rádio.
- Envio de carga útil, por exemplo, combate a incêndio ou remoção de colheita.
- Aquisição de imagem para cinematografia e entretenimento em tempo real.

Cada uma destas aplicações pode, por conseguinte, capacitar a utilização de robôs para a ação de busca e salvamento.

#### 4.3.2.5. Logística e mobilidade

Os sistemas de robótica logística incluem os veículos autoguiados (na dominação inglesa, *automated guided vehicles* – AGV) em ambientes industriais (transporte de componentes entre armazém e postos de trabalho), ou AGV em ambientes não industriais (de interior) e *handling* de carga ou logística exterior, entre outros. São sobretudo sistemas associados à automatização de armazéns.

Veículos autónomos e *drones* são duas aplicações que hoje em dia são muito vulgares, mas que ainda têm muitas limitações técnicas a superar. As suas aplicações enquanto instrumentos de trabalho são ainda controversas, pois são aplicados quer para fins militares, quer para sistemas autónomos de transporte. Os veículos aéreos de transporte não tripulado (ou *drones*) podem ser aplicados para tarefas de monitorização em ambientes fabris, como, por exemplo, grandes instalações de produção contínua que têm poucos operadores humanos ou que necessitam de controlo de fluxos em ambientes de alguma hostilidade.

As aplicações de monitorização são também desenvolvidas para o controlo de centrais de produção de energia, quer centrais de energia nuclear, quer de energia térmica ou ainda para grandes instalações químicas ou de combustíveis.

Tem existido, nos últimos anos, alguma controvérsia acerca dos sistemas autónomos de mobilidade. Os críticos da automação de veículos geralmente concentram-se no potencial que a tecnologia robótica tem para eliminar empregos. Por outro lado, os proponentes de sistemas autónomos contestam essa visão, pois consideram que enquanto alguns postos de trabalho se poderão tornar obsoletos (normalmente para os postos de trabalho mais sujos, perigosos ou monótonos), outros postos serão criados, sendo que, para outros autores, o resultado tende a ser positivo.

Nos sistemas ferroviários têm sido desenvolvidos sistemas programados de gestão de movimentação de veículos em linhas dedicadas sem condutores. Algumas experiências mais simples foram introduzidas nos anos de 1970 em pequenas linhas ferroviárias de ligação entre terminais de aeroporto utilizando caruagens de transporte sem condutor. O caso do AirTrain JFK (Nova Iorque) é talvez o mais conhecido, mas muitos outros aeroportos replicaram a experiência, como o do Aeroporto de Frankfurt. Outras linhas ferroviárias metropolitanas têm também sistemas de controlo automatizado, como o SkyTrain de Vancouver, a linha LRT Kelana Jaya (Malásia) e a Paris Métro Ligne 14 (Paris), conhecido também como projeto Météor (*MÉTro Est-Ouest Rapide*). Qualquer umas destas experiências tiveram problemas ou pequenos acidentes que refreiam tentativas de as alargar a muitos outros locais. Podemos concluir que os sistemas ferroviários, pelo seu desenvolvimento, é um dos setores onde os sistemas de transporte autónomos se podem vir a desenvolver de modo consistente, mas haverá que ultrapassar ainda algumas barreiras técnicas para poder ganhar a confiança dos seus utilizadores e das empresas gestoras desses serviços de transporte.

A discussão em termos da autonomia de sistemas de mobilidade tem sido muito presente na comunicação social nos últimos anos. As aplicações em sistemas rodoviários têm conseguido ganhar muitos adeptos quer no campo da investigação científica, quer no campo da controvérsia mediática.

Os sistemas aéreos são porventura os que têm conhecido maiores desenvolvimentos em termos de automatização. O desenvolvimento de sistemas de controlo aéreo e de navegação desenvolveram-se muito intensamente nos últimos anos. Por exemplo, a Estratégia de Gestão do Tráfego Aéreo para os Anos 2000+<sup>50</sup>, desenvolvida pela Organização Europeia para a Segu-

---

<sup>50</sup> Air Traffic Management Strategy for the Years 2000+.

rança da Navegação Aérea (Eurocontrol) afirmava que “a dependência individual do elemento humano levará a um desequilíbrio crítico entre a capacidade e a procura dentro de alguns anos” (Eurocontrol, 2000, § 2.3.3.). Isso implica que a automação será a solução para complementar o desempenho humano e as limitações das qualificações e das capacidades humanas. Quando os ambientes de gestão de tráfego aéreo implicam que a dimensão cognitiva representa a componente mais importante do processo operacional, esta afirmação da Eurocontrol exige uma visão peculiar dos processos de interação dos indivíduos e dos sistemas automatizados. Referindo-se ao caso dos Serviços de Controlo de Tráfego Aéreo, a Organização Internacional da Aviação Civil (ICAO) afirma que “os controladores de tráfego aéreo [...] aplicam o seu melhor julgamento na resolução de situações de emergência” (ICAO, 2002, Parte III, § 16.1.1). Por conseguinte, esta determinação da ICAO mostra que, além das muitas abordagens teóricas e simulações de realidade operacional, até agora não foi possível traduzir para o sistema tecnológico a complexidade da dimensão cognitiva dos agentes humanos e suas implicações no funcionamento do trabalho complexo (Sampaio e Moniz, 2007: 2).

Mais recentemente, o European ATM Master Plan indicou que, ao estabelecer uma visão para a aviação europeia num horizonte temporal de 2050, vai ser possível um aumento de apoio à automação com implementação de tecnologias de virtualização, assim como com sistemas interoperativos e normalizados. Os aeroportos ficarão completamente integrados num sistema de gestão de tráfego aéreo (ou ATM<sup>51</sup>) e serão desenvolvidos sistemas de “apoio automatizado para avaliação da complexidade de tráfego”<sup>52</sup> (SESAR, 2015: 15).

É, finalmente, nos sistemas de navegação marinha que podemos encontrar experiências muito avançadas, mas ainda pouco

<sup>51</sup> *Air traffic management.*

<sup>52</sup> *Automated support for traffic complexity assessment.*

conhecidas de transporte sem pilotagem humana. A plataforma tecnológica europeia Waterborne estabeleceu que “a próxima geração de sistemas de controlo modular e de tecnologia de comunicação permitirá funções de monitorização e controlo sem fio tanto dentro como fora de bordo. Estes incluirão sistemas avançados de apoio à decisão para fornecer uma capacidade para operar os navios remotamente sob controle semi ou totalmente autónomo”. Esta plataforma tecnológica é uma iniciativa que surgiu do Fórum das Indústrias Marítimas<sup>53</sup> e da sua comissão de I&D em 2005 e deve atualizar regularmente os requisitos de I&D para a competitividade, a inovação e a reunião de regulamentos de segurança e meio ambiente. As partes interessadas incluem as associações da UE que abrangem o transporte marítimo de profundidade e curta distância, das vias navegáveis interiores, os estaleiros, os fabricantes de equipamentos, a indústria de lazer marítima, as instituições de investigação e as universidades, as sociedades de classificação.

O projeto europeu MUNIN (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks) procurou desenvolver um sistema que normalmente dependeria de funções de controlo automáticas e totalmente determinísticas para executar o navio. No entanto, vários sistemas de sensores foram considerados necessários para detetar situações problemáticas, como objetos inesperados no mar, condições climáticas perigosas ou perigo de colisão. Se ocorrer uma situação inesperada, um módulo de controlo autónomo poderá ser invocado para remediar a situação dentro das limitações dadas. Se o sistema não conseguir isso, solicitará o apoio de um operador remoto ou iniciará um procedimento de falha de segurança se o operador não estiver disponível. Implementado corretamente, esse tipo de autonomia reduzirá a necessidade de supervisão humana, mantendo um alto e bem definido nível de segurança. No entanto, um grande desafio será

---

<sup>53</sup> Maritime Industries Forum (MIF).

para os sistemas de sensores do dispositivo, de modo que todas as situações perigosas relevantes sejam detetadas de forma confiável e adequadamente atuadas<sup>54</sup>. E este é efetivamente o grande problema deste tipo de sistemas automatizados.

#### **4.4. A relação indivíduo-robô na esfera do trabalho**

A relação dos humanos (operadores, pacientes, investigadores) com robôs pode fornecer uma informação relevante sobre as tendências relativas às alterações nas funções profissionais ou nos conteúdos profissionais da relação de humanos com máquinas em sistemas automatizados. Já vimos que os processos de automação podem implicar uma substituição de tarefas humanas simples e rotineiras, características dos primórdios da introdução de sistemas automatizados na indústria. No entanto, essa relação pode ser bastante mais complexa se a automação implicar a complementaridade de funções e de tarefas entre humanos e máquinas. Segundo muitos estudos, essa parece ser a probabilidade mais acentuada no caso de robôs que executam tarefas com alguma complexidade e que, por isso, necessitam da complementaridade de atividades de controlo, de inspeção, de manutenção e de programação. Por conseguinte, o que se tem passado em termos de processos de mudança nos ambientes de trabalho pode revelar muito sobre as potencialidades de transformação e acerca dos problemas que podem vir a surgir quando se trata de ambientes que requerem complexidade na execução das tarefas.

---

<sup>54</sup> Ver <http://www.unmanned-ship.org/munin/about/the-autonomus-ship/> (28/10/2017).

#### 4.4.1. Características da relação indivíduo-robô em ambiente de trabalho

Os indivíduos que trabalham com robôs têm geralmente níveis de qualificação elevada. Em Portugal têm usualmente o nível secundário de educação. No entanto, conhecemos alguma variabilidade no que diz respeito à qualificação daqueles que operam com robôs e máquinas automatizadas.

Trabalhadores altamente qualificados que trabalham em estreita colaboração com a tecnologia estarão provavelmente com forte procura no mercado de trabalho. Em muitos casos, poderão aproveitar as novas oportunidades de trabalho independente. Isto pode acontecer sobretudo quando o trabalho de projeto é encomendado pelas empresas a profissionais independentes ou a microempresas (em alguns casos em regime de *outsourcing*). No entanto, em grandes empresas que utilizam intensivamente a robótica, os níveis de qualificação podem ser considerados intermédios. Aqueles que têm qualificação mais elevada são aqueles com maior experiência de operação destes sistemas, ou que realizam operações de manutenção ou de trabalho com as ferramentas e dispositivos acessórios.

Os trabalhadores com qualificações de nível médio, cujas atividades possuem um alto potencial técnico de automação (atividades físicas previsíveis, recolha e análise de dados), podem ter de buscar oportunidades de reciclagem para se prepararem para mudanças nas suas atividades. Isso irá acontecer sobretudo com aqueles que desenvolvem complementos de atividades que as máquinas vão começar a realizar. Poderá ser a maioria dos casos de operadores de robôs em instalações altamente automatizadas.

Trabalhadores com baixa qualificação que trabalham com tecnologias automatizadas poderão conseguir mais em termos de produção e produtividade, mas podem sofrer pressão salarial devido à potencialmente grande oferta de pessoal com baixa qualificação.

Algumas das abordagens mais críticas para o desenvolvimento de robôs na indústria levantam questões acerca da sua utilização, pois ela pode levar ao deslocamento de trabalho ou mesmo à sua substituição, como afirmam Corbett (1990) Krings (2011) e Ramioul (2008).

Irão os perfis profissionais melhorar se os robôs assumirem os trabalhos perigosos, monótonos e sujos, como foi prometido para a adoção destas mudanças técnicas em milhares de empresas industriais em todo o mundo?

Para responder a esta pergunta, é necessário saber se o uso de robôs pode levar à extensão do fosso digital entre aqueles que têm maior qualificação e que se podem envolver no processo de tomada de decisão, e aqueles que é suposto serem apenas passivamente envolvidos no sistema técnico. A evidência empírica mostra ambos os lados da medalha.

Normalmente, os trabalhadores altamente qualificados podem esperar ter melhores oportunidades para lidar com robôs e ambientes complexos de trabalho. No entanto, os trabalhadores menos qualificados estão propensos a envolverem-se apenas nos locais de trabalho mais pobres em termos de conteúdo e que implicam tarefas repetitivas e simples. Assim, poderão trabalhar com sistemas automatizados, mas sem qualquer ação adicional além de “apertar botões”. Existe, por conseguinte, uma variabilidade acentuada de modos de interação entre os operadores de robôs e este tipo de tecnologia. Esses modos não variam de acordo com as características intrínsecas da tecnologia, mas variam também de acordo com a qualificação profissional dos seus operadores.

Os fabricantes de robôs geralmente desenvolvem os seus sistemas considerando as necessidades do trabalho de um programador de sistema ou de um especialista em TIC. A perspectiva do operador neste circuito é muitas vezes negligenciada. Esta perspectiva deve formar a base do conceito de interação do operador e o robô (*worker-robot interaction*, WRI), e, em certa medida

também, de um conceito generalizada de interação do indivíduo e o robô (*human-robot interaction*, HRI).

Na verdade, estas questões têm sido discutidas nas ciências sociais durante várias décadas. As tendências mostram que as perguntas “clássicas” em relação à qualificação no trabalho e às competências, às mudanças no trabalho, e sobre a substituição do trabalho são cruciais na sua reflexão sobre novas tecnologias. Isto é especialmente verdadeiro quando se trata da interligação de produção nas cadeias de valor globais. No entanto, os desenvolvimentos mais recentes na área da robótica demonstram a necessidade de rever os conceitos discutidos. Quando existe este reenquadramento e se reflete sobre as novas questões, parece importante aumentar a colaboração entre os cientistas sociais, os especialistas de engenharia e os informáticos, segundo Fischer e Lehl (1991), Gorle e Clive (2013) e Van Est e Kools (2015).

O conhecimento de outras disciplinas pode fornecer um quadro de referência importante quando os cientistas sociais analisam e debatem alternativas organizacionais e a disponibilidade de opções em relação à interação humana com as máquinas (*human-machine interaction*, HMI). Podemos estender estes debates para desenvolver teses semelhantes sobre a aplicação de robôs. Sem dúvida, os robôs colaborativos e as novas questões técnicas, tais como a visão aumentada na fabricação, levantam novas questões e desafios. Isso acontece sobretudo porque eles oferecem novos elementos a considerar no que diz respeito à conceção dos locais de trabalho e modelos organizacionais. Em geral, a análise destas questões implica sempre a necessidade de promover mais qualificação e novas competências entre a força de trabalho.

Há vários estudos empíricos sobre HRI ou sobre ambientes complexos de trabalho (em inglês, *complex working environment*, CWES), ou apenas sobre a interação humana com sistemas automatizados (ver, por exemplo, Laessoe e Rassmussen, 1989; Kobayashi *et al.*, 2013; Groom *et al.*, 2009; Wallhoff *et al.*,

2010). O que parece novo nestes estudos é a consideração das dimensões éticas e legais de tecnologia. Apesar disso, no entanto, não parecem estar frequentemente relacionadas com a estrutura organizacional dos contextos específicos. A dimensão jurídica refere-se basicamente às questões de segurança, enquanto que a dimensão ética está fortemente relacionada com questões de trabalho com robôs (Van Est e Kools, 2015).

O regulamento-quadro não aborda as questões de substituição de trabalho. As avaliações técnicas levantam questões éticas, mas sem considerar as expectativas e as necessidades dos trabalhadores humanos. Concentrando-se em estratégias de envolvimento humano na inovação tecnológica das organizações, torna-se crucial compreender as implicações do uso dessas tecnologias. Será que elas podem melhorar a produtividade? Será que elas geram novas configurações organizacionais? Ou podem melhorar a qualidade dos ambientes de trabalho? As respostas a estas questões não são ainda claras.

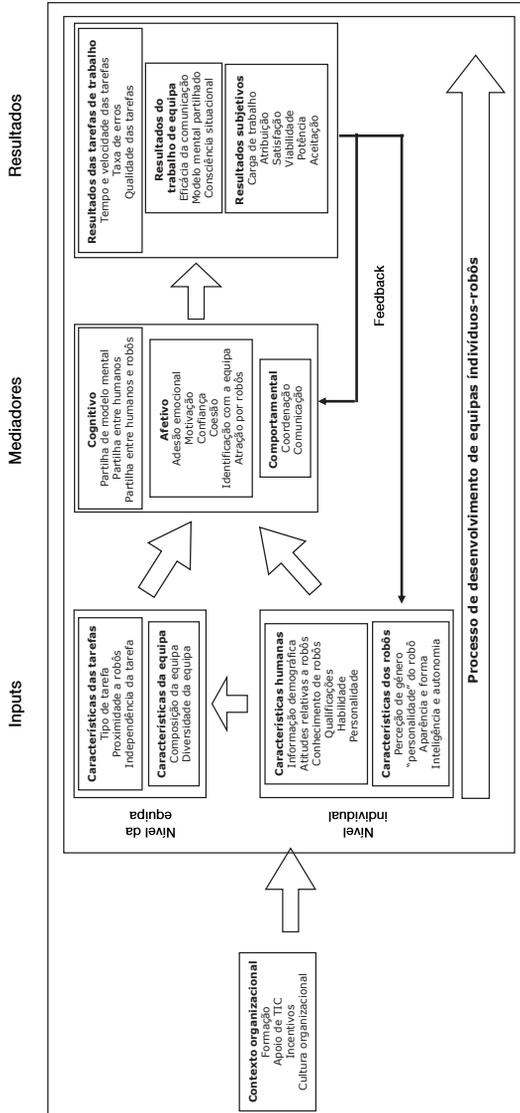
Novas abordagens para uma nova qualidade de HRI podem incluir estratégias participativas que a organização do trabalho tem de desenvolver. Nem todas as organizações empresariais consideram o desenvolvimento de tais estratégias para que os ambientes complexos de trabalho com robôs possam ser feitos com equilíbrio. A aplicação robótica em ambientes de trabalho requer a consideração de novas questões de conceção das tarefas, o cumprimento da integração da máquina em grupos de trabalho e ainda o aumento da complexidade do processamento de dados. Os projetos de investigação sobre a mudança nos locais de trabalho devem ter em conta a integração das múltiplas interfaces que exigem mais interação dos seres humanos com sensores, robôs e manipuladores, bem como diferentes competências e responsabilidades. Por outro lado, algumas teses sobre novas funções concluem acerca da existência de novas formas de influência humana e de criatividade nos processos de trabalho que incluem robôs.

Como mencionado acima, a nova concepção do local de trabalho em ambiente automatizado vai além das questões meramente ergonômicas. Inclui, por conseguinte, a necessidade de algumas ferramentas de *software* que devem ser utilizadas pelos trabalhadores, o que os obriga a deterem novas competências de trabalho. Essas ferramentas podem incluir sistemas baseados em conhecimento, realidade aumentada e processos de comunicação. Portanto, a investigação acerca do desenvolvimento de *software* para integrar sistemas baseados em conhecimento em máquinas automáticas e programáveis é, portanto, um domínio empírico onde o tema do conhecimento tácito dos trabalhadores pode levantar novos problemas do conhecimento formalizado. Vários estudos sociológicos já abordaram estes temas, mas quase nenhuma investigação foi feita no contexto de sistemas complexos de fabricação (Moniz e Krings, 2014; Thrun, 2004).

#### 4.4.2. O que são ambientes complexos de trabalho?

A definição de ambientes complexos de trabalho (CWE) não tem ocupado muitos autores, embora existam componentes que são objeto de estudo e de produção de literatura científica. A maior parte da investigação no domínio da robótica e dos sistemas automatizados aborda os componentes desses sistemas. Raramente os aborda de modo integrado. E ainda menos isso tem sido feito integrando o elemento humano numa abordagem empírica sobre os variados processos de produção. Alguns modelos tentam aproximar esses elementos como o que na página seguinte se representa.

**Gráfico 8**  
**Enquadramento do trabalho de interação indivíduo-robô**



Fonte: adaptado de You e Robert, 2017: 3

Essa estrutura de enquadramento tenta captar a natureza dinâmica, adaptativa e de desenvolvimento das equipas de indivíduos e robôs. Ao fazê-lo, esta estrutura incorpora as entradas, mediadores e os resultados que definem a relação de equipas que articulam humanos e robôs com um processo iterativo de *loops* de *feedback*. Para os seus autores este quadro é um passo inicial que motivará um maior desenvolvimento teórico e validação empírica (You e Robert, 2017; Hinds, Roberts e Jones, 2004).

Com efeito, a abordagem aos sistemas complexos de trabalho deve considerar as características individuais, quer dos operadores humanos, quer das máquinas (robôs) com as quais interagem. Mas além dessas há que considerar as características coletivas dos grupos de trabalho, e as das tarefas que compõem o processo de trabalho e o definem. Assim, os elementos de entrada neste modelo consideram o nível da equipa (indivíduos e tarefas) e o nível individual (humanos e máquinas). A mediação neste modelo é cognitiva, afetiva e comportamental. É justamente a mediação que caracteriza a organização do trabalho e o modelo de divisão de trabalho entre humanos, entre máquinas e entre humanos e máquinas.

Tudo isto implica resultados do trabalho em equipa, das tarefas de trabalho, e resultados subjetivos. Este conjunto de resultados interfere, em termos de *feedback*, nas referidas dimensões de mediação.

Os ambientes complexos devem ser concebidos e projetados de acordo com os princípios sociotécnicos que devem ser considerados como níveis de criatividade humana. As experiências no setor de produção mostram que há necessidade de integração da conceção e da execução de sistemas em áreas altamente automatizadas. A separação destas funções deve ser evitada quanto maior for a complexidade do sistema. Esta integração deve ser feita num nível elevado de autonomia e de autocontrolo dos grupos individuais de trabalho. A atividade do grupo

de trabalho deve ser focada no principal tipo de produto, ou em pequenos grupos de produtos relacionados (Moniz e Krings, 2014). As tarefas do grupo incluem planeamento e alocação de tarefas de trabalho ao grupo, e não individualmente, tais como carregar, configurar, descarregar as máquinas, ou programação, manutenção, qualidade e controlo de desempenho. São necessárias, para isso, várias competências, e deve ser promovida a rotação do emprego entre os membros do grupo. Especificamente, a introdução e a aplicação da robótica na mudança da estrutura de trabalho mostram numerosos efeitos colaterais para todo o processo de produção. O aumento da produtividade (económica), por este meio, parece ter uma importância significativa para a adoção de mudanças técnicas (IFR/Metra-MARTECH, 2011). No entanto, o desenvolvimento de conceitos sociotécnicos para desafiar e melhorar as interfaces homem-máquina deve ser um objetivo significativo ao criar o CWE. Como essas experiências mostram, ainda subestimaram (ver Bullinger, Korndörfer e Salvendy, 1987; e Pieskä, J. Kaarela and O. Saukko, 2012).

Estes ambientes complexos de trabalho não são exclusivos das empresas industriais. Também os podemos verificar na área da saúde. Por exemplo, em comparação com a fabricação, na área da saúde, parece que as relações de trabalho e a interface indivíduo-máquina vão mudar significativamente. “Além das questões sociais e éticas nas experiências de medicina, verifica-se que a tecnologia ocupa cada vez mais uma posição de mediação entre cirurgião e paciente. Nesta posição, a tecnologia parece não ser mais uma ferramenta operacional, mas um sistema mais complexo com deslocamento espacial do cirurgião em relação ao paciente. Com a aplicação da robótica em cirurgia, o robô possui uma interface para o cirurgião e outra para o paciente em diferentes lugares” (Moniz e Krings, 2014). Alguns autores referem-se a ele como telecirurgia (Elprama *et al.*, 2013).

Na fabricação, no entanto, é amplamente esperado um aumento da integração da tecnologia robótica de serviços. Isso poderá vir a acontecer, sobretudo, através da implantação de robôs em novas áreas de fabricação (Moldaschl, 2010). As aplicações modernas de robôs em ambientes complexos CWE podem implicar uma interação humana com diferentes máquinas (robôs e outros equipamentos que tenham TIC). E também podem implicar uma interação autónoma entre robôs, ou seja, uma interação robô-robô sem interferência direta de operador humano. Este aumento de complexidade diz respeito ao conjunto de elementos que deverão ser considerados para as tarefas de programação e planeamento, e também diz respeito à diversa funcionalidade dos equipamento envolvidos. Esta integração de informação permite também que o aumento de computação na atividade produtiva se possa determinar os volumes e tipo de produção de acordo com as necessidades dos clientes. Essa integração da informação através da programação dos equipamentos permite adequar a produção aos requisitos de fornecimento em termos de tempos de entrega, volumes e tipos de produtos ou componentes. Essa flexibilidade pode melhorar o desempenho da tarefa, com efeitos diretos sobre qualidade, segurança e produtividade. Mas essa flexibilidade pode ser melhorada adotando tais conceitos de equipas de trabalho, descentralizando os procedimentos para a tomada de decisões (Prewett *et al.*, 2010).

Com efeito, a investigação sobre as mudanças no ambiente de trabalho, bem como sobre as mudanças nas interfaces homem-máquina, deve ser desenvolvida tendo em consideração as abordagens para o setor da indústria e para o da saúde: (a) a tecnologia como ferramenta no ambiente de trabalho para trabalhadores e engenheiros e outros funcionários; (b) a tecnologia como meio na relação entre profissionais de saúde e pacientes, e entre operadores e materiais a serem processados e transformados. Em ambas as perspectivas, o foco específico reside na mudança de relações de trabalho quando a abordagem analí-

tica abrange aplicações robóticas. Tais aplicações implicam um ambiente de trabalho mais complexo, onde o operador antecipa muito os movimentos e ações do robô e deve preparar os elementos para sua ação.

As diferenças no modelo organizacional em que se desenvolvem estes ambientes complexos de trabalho têm como consequência que, em alguns casos, o operador é solicitado a ser um controlador de ação passiva e, em outros casos, ele (ou ela) pode-se tornar um controlador ativo, com níveis mais altos de responsabilidade nas suas tarefas. Esta variação depende do modelo de organização do trabalho, respectivamente, mais mecanicista (ou taylorista e funcional), ou mais orgânico (ou participativo). Os robôs são ferramentas de trabalho que exigem níveis mais elevados de interação especializada com humanos e que podem implicar mudanças significativas nas relações de trabalho. Em muitos casos, os operadores de robôs de linhas de produção em fábricas ou operadores de robôs de cirurgia tornam-se operadores altamente qualificados, com um grande espectro de autonomia de ação nas suas tarefas. Regularmente, isso acontece mais com os cirurgiões do que com os operadores da fábrica, devido à sua posição nas estruturas hierárquicas (Moniz e Krings, 2014). E essa diferenciação de qualificação com os outros colegas dá-lhes mais capacidade de negociação e autonomia. A diferenciação do tempo e do espaço dentro do sistema de trabalho introduz novos elementos qualitativos e quantitativos no processo de trabalho. Por exemplo, a gestão de riscos e segurança torna-se uma questão importante e deve ser levada em consideração ao introduzir novas inovações técnicas (ver Krings, 2011 e 2013; Stipancic, Jerbic e Curkovic, 2012).

#### 4.4.3. A intuitividade como objetivo da relação da robótica com os humanos

Os novos requisitos técnicos de interação indivíduo-máquina podem ser encontrados na indústria: “podem ser facilmente combinados com o trabalho manual de forma segura e natural, sem adicionar salvaguardas e bloqueios que aumentem o esforço de engenharia e instalação além da viabilidade económica”, como é afirmado por Kock *et al.* (2011). A maioria desses requisitos está sendo desenvolvida no campo da inteligência artificial aplicada, como, por exemplo, a realidade aumentada e visão artificial aplicadas às tarefas de fabricação. Por esse motivo, a interação intuitiva é uma questão que pode desempenhar um papel na melhoria dessas capacidades de detecção humana usando novas inovações técnicas. Esta visão é amplamente confirmada por muitos fabricantes de robôs usando essa abordagem nas suas atividades de investigação e desenvolvimento (cf. Prassler *et al.*, 2005; Kaiser, 1994).

A ampliação da perspectiva das implicações sociais identificadas, como, por exemplo, a interação intuitiva entre humanos e sistemas robotizados, é a motivação central desta hipótese. Neste contexto, diferentes opções técnicas de interação intuitiva devem ser analisadas e avaliadas no que diz respeito ao aumento das opções de decisão para as operadoras humanas. No entanto, a interação intuitiva do indivíduo com os robôs (HRI) também é capaz de aumentar a autonomia técnica (robôs ou agentes autónomos em sistemas complexos) e deslocar o trabalho humano. Noutros casos, a HRI intuitiva pode aumentar a segurança, aumentar a produtividade e facilitar a operação humana em ambientes de trabalho. Finalmente, os ambientes de trabalho altamente qualificados com robôs requerem geralmente sistemas mais sofisticados para estratégias de colaboração (cf. De Santis *et al.*, 2008; Prewett *et al.*, 2010; Lenz, 2011; Moniz, 2007).

A dimensão social da interação trabalhador-robô na indústria está-se a tornar num aspeto decisivo do desenvolvimento da robótica. Muitos problemas e dificuldades da investigação em robótica não estão apenas relacionados com questões técnicas, mas enquadram-se em aspetos sociais. A HRI como campo de investigação específico da robótica aborda essa questão da intuição. Um dos objetivos é identificar questões de pesquisa relevantes sobre a possibilidade de desenvolvimento de sistemas de robôs mais seguros em sistemas de interação intuitiva mais humanos-máquinas no nível da fábrica. A compreensão da carga de trabalho cognitiva e perceptiva para os operadores de robôs em sistemas de trabalho complexos é fundamental para se entender essa dimensão social da HRI. A importância da robótica na vida profissional não é apenas a de diminuir as tensões físicas na fabricação, mas também aumentar a necessidade de conscientização da situação e avaliação de risco, o que implica maior carga de trabalho perceptual e tensões psicológicas. A abordagem das ciências sociais para tal avaliação de tecnologia é de grande relevância para reconhecer a dimensão do conceito de interação intuitiva na robótica social.

Estudos sobre HRI, por exemplo, por Thrun (2004), Bernstein *et al.* (2007), Schraft e Meyer (2006), Kiesler e Hinds (2004), ou Hinds *et al.* (2004), também enfatizam a importância das interfaces intuitivas na interação entre humanos e sistemas automatizados. Alguns deles sublinham que, em poucos anos, a interação humano-robô se tornará uma preocupação principal na maioria das aplicações robóticas. Barattini *et al.* discute o reconhecimento de “gestobulário” (vocabulário de gestos) ou “feedbackulário” (vocabulário de *feedback*) (Akan *et al.*, 2001) como conjuntos de gestos ou comentários-padrão para comandos específicos. Outros apontam para a necessidade de desenvolver métodos de ensino intuitivos a serem aplicados em pequenas e médias empresas (Schraft e Meyer, 2006). Pelo menos, parece haver consenso em toda a comunidade científica de que muitos

dos problemas atuais no HRI ainda não foram solucionados. E a maioria dessas contribuições virá de diferentes origens científicas, sendo as ciências sociais uma delas.

Alguns autores ainda argumentam que a programação intuitiva de robôs, ou seja, a “programação por demonstração”, é necessária para transferir habilidades humanas para o robô, conforme mencionado por Colombo *et al.* (2006). No entanto, o objetivo não deve ser deixar o operador humano sem habilidades ou competências, mas desenvolver métodos que permitam aos operadores humanos (ou tutores) “ensinar” tarefas simples aos robôs e não “transferi-las” apenas.

Mohs *et al.* definem a intuição como a existência de uma aplicação inconsciente do conhecimento prévio que leva à interação efetiva (2006) entre humanos e robôs. Também podemos aplicar essa definição à HRI. A questão é se o modelo dominante de organização do trabalho com HRI permite e reconhece o papel do conhecimento tácito nos processos de trabalho.

Na interação intuitiva, o processo de tomada de decisão geralmente inclui um tutor, um operador de robôs ou um programador de *software*, dependendo das opções organizacionais. No entanto, o sistema robótico como agente autônomo também está incluído no processo de decisão. De acordo com Kaiser (1994), o esforço envolvido no projeto de controle só pode ser efetivamente reduzido quando uma decisão está sujeita a confirmação mútua por um operador humano e um agente automatizado (por exemplo, um robô). Para Heyer, a questão é “como os robôs se encaixam nas estruturas organizacionais existentes e como eles são responsáveis perante a organização em termos de operação segura e confiável ainda está por determinar” (Heyer, 2010). Tais declarações demonstram que, na maioria das modelações com robôs, as ações entre humanos e máquinas precisam de ser definidas como uma relação sociotécnica.

A relevância das interfaces indivíduo/operador-robô (HMI em geral, e interação operador-robô – WRI em particular) é

devido a sistemas de trabalho complexos usando o sistema robótico na área operacional das fábricas. Portanto, na pesquisa de HRI deve haver um foco mais forte nos aspectos sociais do trabalho, como aqueles relacionados com o surgimento de novas competências, habilidades e novas necessidades de treino, bem como a produtividade e o ambiente de trabalho melhorados. Esses tópicos foram muito importantes no debate na sociologia industrial durante as últimas décadas do século XX e também são relevantes no contexto de ambientes de trabalho robóticos. A discussão sobre as implicações sociais da automação na fabricação também pode servir como ponto de partida para discutir as condições atuais de desenvolvimento do HRI e as possibilidades da sua implementação na fábrica.

Tais perspectivas para a HRI foram realizadas usando métodos de análise interdisciplinar, juntando cientistas sociais e cientistas da computação. Os estudos sobre avaliação de tecnologia e trabalho desenvolvidos por Moniz e Krings no ITAS-KIT (ver Moniz, 2007, ou Krings, 2008, Moniz e Krings, 2016) usam o método de análise interdisciplinar para analisar abordagens existentes para HRI.

Esta metodologia visa melhorar a consciencialização do conhecimento sobre o uso de robôs inteligentes no nível da loja na indústria de fabricação. Ele também pretende avaliar as alternativas organizacionais disponíveis de usar a interação intuitiva do robô para melhorar o desempenho e os resultados de produtividade.

Os resultados preliminares confirmam a correlação positiva assumida entre as abordagens participativas da interação intuitiva do robô e a produção de desempenho. De facto, a automação industrial está a alcançar capacidades mais avançadas que contribuem para processos de produção melhorados em termos de níveis de desempenho mais altos, melhores padrões de qualidade e maior flexibilidade técnica.

#### 4.4.4. Contribui a robótica para a melhoria das condições de trabalho?

Um dos argumentos para a adoção de sistemas robotizados nas atividades de trabalho relaciona-se com a melhorias das suas condições. Em muitos casos, os robôs são introduzidos em postos de trabalho perigosos ou onde existe a ocorrência de maiores índices de acidentes ou de danos para a saúde ocupacional.

No entanto, os robôs também podem lesar os humanos que com eles trabalham. O caso de Robert Williams (1953-1979) é disso revelador. Foi a primeira pessoa a ser morta por um robô. Era um trabalhador na fábrica da Ford Motor Company em Flat Rock, Michigan (EUA), e faleceu em Janeiro de 1979 atingido na cabeça por um braço de robô de uma tonelada na linha de produção quando ele estava a colocar componentes num armazém local de onde o robô também retirava peças. O robô movia peças para a linha de produção, e quando começou a operar em modo lento, Williams subiu para buscar componentes e foi atingido na cabeça, morrendo imediatamente. A família processou os fabricantes do robô, a Litton Industries, por 15 milhões de dólares e o tribunal concluiu que não existiam medidas suficientes de segurança para prevenir este tipo de acidentes. Outro caso infeliz ocorreu com Kenji Urada (1944-1981), um engenheiro de manutenção na fábrica da Kawasaki Heavy Industries. Ele estava a trabalhar num robô avariado e não o conseguiu desligar completamente, no que resultou num movimento inesperado que o empurrou para uma máquina esmeriladora, matando-o. As circunstâncias deste acidente apenas foram conhecidas seis meses depois de uma investigação completa da parte do organismo de normalização do trabalho<sup>55</sup>.

---

<sup>55</sup> Equivalente à Agência para as Condições de Trabalho em Portugal, ou à Inspeção do Trabalho.

Estes tipos de acidentes não são geralmente muito conhecidos. Existem muito poucos registos da sua ocorrência. Um facto que o pode explicar diz respeito ao receio de que tais informações possam reduzir a aceitabilidade deste tipo de tecnologia e nos entaves que poderiam ser colocados na sua utilização, aumentando assim os seus custos. É, no entanto, de assinalar que estes primeiros acidentes ocorreram no final dos anos 70 e início dos anos 80. E foi desde essa altura que as preocupações com as questões de segurança se começaram a colocar. O American National Standards Institute (ANSI) aprovou em 1986 o American National Safety Standard ANSI-RIA R15.06-1986, “Industrial Robots and Industrial Robot Systems – Safety Requirements,” para a avaliação da segurança com robôs. No ano seguinte, o organismo de avaliação de ciência e tecnologia dos EUA informou a OSHA (Occupational Safety and Health Administration, <https://www.osha.gov>) com a diretiva PUB 8-1.3 denominada “Guidelines For Robotics Safety”<sup>56</sup>.

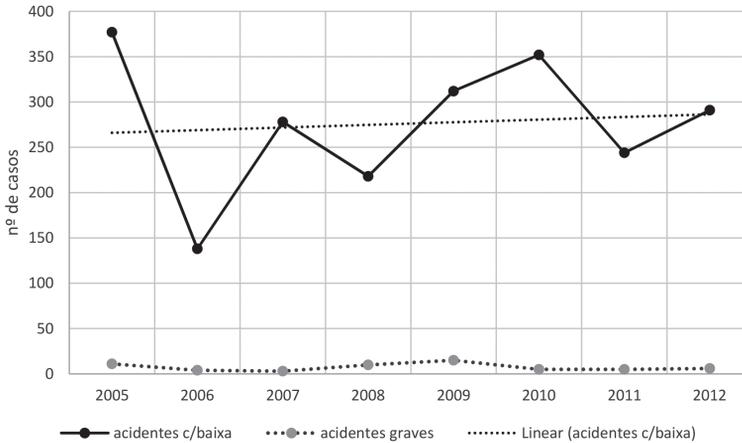
Os dados estatísticos sobre acidentes com robôs em ambiente de trabalho são escassos. A inspeção de trabalho dos Estados Unidos tem, porventura, as melhores referências sobre este tema. Com efeito, podemos saber que desde 1984 foram registados 38 acidentes com este tipo de equipamento<sup>57</sup>. Em 2015, a Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) publicou em *DGUV Information 209-074* um relatório sobre robótica industrial onde se apresentam os seguintes dados:

<sup>56</sup> Ver [https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=DIRECTIVES&p\\_id=1703](https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=DIRECTIVES&p_id=1703).

<sup>57</sup> Ver em [https://www.osha.gov/pls/imis/accidentsearch.search?sic=&sic\\_group=&naics=&acc\\_description=&acc\\_abstract=&acc\\_keyword=%22Robot%22&inspr=&fatal=&officetype=&office=&startmonth=&startday=&startyear=&endmonth=&endday=&endyear=&keyword\\_list=on&p\\_start=&p\\_finish=20&p\\_sort=&p\\_desc=DESC&p\\_direction=Next&p\\_show=20](https://www.osha.gov/pls/imis/accidentsearch.search?sic=&sic_group=&naics=&acc_description=&acc_abstract=&acc_keyword=%22Robot%22&inspr=&fatal=&officetype=&office=&startmonth=&startday=&startyear=&endmonth=&endday=&endyear=&keyword_list=on&p_start=&p_finish=20&p_sort=&p_desc=DESC&p_direction=Next&p_show=20) (em 19/08/2017).

Gráfico 9

Acidentes profissionais por/com robôs industriais na Alemanha



Fonte: cálculo do autor baseado em Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), 2015.

Nota: na linha mais escura encontram-se os acidentes de trabalho com mais de três dias de baixa. Na linha mais clara estão os acidentes mais graves. Além de acidentes em robôs, os acidentes também são registados em máquinas automáticas e sistemas de transferência. Estes incluem, por exemplo, portais e sistemas de manuseio, mas sem máquinas-ferramentas.

Sabendo-se que em 2012 estão mais de 160 mil robôs instalados, pode dizer-se que seis acidentes graves são ocorrências raras. Apesar de tudo elas existem e o objetivo será sempre não ter sequer ocorrências graves. Em Portugal não temos informação nem sobre o número de robôs instalados, nem sobre o número de acidentes provocados por e com robôs industriais. Se considerarmos acidentes menos graves mas com necessidade de dias de baixa, o valor é bastante mais elevado, podendo chegar, na Alemanha, aos 300 acidentes anuais. É um número mais preocupante e que requer sempre alguma reflexão.

Embora recentemente tenham sido relatados pela imprensa alguns casos<sup>58/59</sup>, a sua publicitação continua a ser escassa. Existe obviamente algum receio do lado dos fabricantes de sistemas robotizados e de sistemas automatizados em geral que este conhecimento se torne num problema de alarme e de inquietação. Pode, por isso, constituir mais um fator de resistência aos processos de automatização, sobretudo do lado de quem poderá vir a operar esses sistemas. Pode inclusivamente vir a ser um tema a incluir em negociações entre parceiros sociais a nível empresarial.

No caso português as informações acerca de acidentes com robôs industriais não existem. A única maneira de tentarmos conhecer um pouco mais o contexto do problema é através de deduções que podem ser feitas a partir da comparação de vários dados estatísticos nacionais e internacionais.

Na introdução a um texto recente da Autoridade para as Condições do Trabalho (ACT) é referido que “a ocorrência de acidentes de trabalho ou de doenças profissionais constitui um forte indicador da existência de disfunções nos locais de trabalho e/ou nas respetivas envolventes. A informação da sua ocorrência e a elaboração do respetivo inquérito permitem à ACT direcionar melhor a sua ação de informação e de controlo no domínio da segurança e da saúde no trabalho e iniciar o processo de transformação daquele local de trabalho específico, permitindo às entidades empregadoras conhecerem melhor as necessidades de correção das medidas de controlo de riscos aplicadas nos locais de trabalho”<sup>60</sup>.

<sup>58</sup> Na Índia, <http://www.independent.co.uk/news/world/asia/worker-killed-by-robot-in-welding-accident-at-car-parts-factory-in-india-10453887.html>.

<sup>59</sup> Na Alemanha: <https://www.theguardian.com/world/2015/jul/02/robot-kills-worker-at-volkswagen-plant-in-germany>.

<sup>60</sup> Autoridade para as Condições do Trabalho; coord. (2015) *A Autoridade para as Condições do Trabalho e os inquéritos de acidente de trabalho e doença profissional*. Direção de Serviços de Apoio à Atividade Inspetiva, Lisboa: ACT, 19 pp.

Ao mesmo tempo, a Fundação Europeia para a Melhoria das Condições de Vida e de Trabalho (Eurofound) tem vindo a monitorizar, desde 1991, as condições de trabalho na Europa através do seu Inquérito Europeu sobre as Condições de Trabalho (IECT). A pesquisa tem como objetivo determinar as condições de trabalho nos países europeus, analisar as relações entre os seus diferentes aspetos, identificar grupos de risco. Em 2015, o sexto IECT entrevistou quase 44 000 trabalhadores (empregados e trabalhadores por conta própria) em 35 países europeus: os 28 Estados-membros da UE, os cinco países candidatos à UE, a Noruega e a Suíça.

No entanto, os estudos de ciências sociais acerca dos acidentes de trabalho são muito escassos. Na revista *International Journal of Working Conditions* apenas detetámos três artigos<sup>61</sup>. Nas revistas *Sociedade e Trabalho*, do Ministério do Trabalho<sup>62</sup>, e *Organizações e Trabalho*, da APSIOT, existem alguns (poucos) artigos que abordam o problema<sup>63</sup>, mas não foi possível fazer a pesquisa de todos os números para poder apresentar uma listagem completa. De todos os modos, é reconhecido que a quantidade de estudos sobre a situação portuguesa é ainda muito escassa.

Num artigo em *Organizações e Trabalho* da APSIOT em 1990, referia-se que, “apesar de não existirem ainda estudos de

---

<sup>61</sup> Tânia Mendes e João Areosa (2016), Quando o lugar da cura também causa danos: riscos e acidentes de trabalho num hospital de Lisboa, *International Journal of Working Conditions*, N.º 12; Vítor Manuel Quesado Arieiro, Clara Assis Coelho Araújo, Luís Carvalho Graça (2016) A subnotificação de acidentes de trabalho: prevalência nos enfermeiros de serviços de urgência, *International Journal of Working Conditions*, N.º 11; e João Areosa (2012) A importância das perceções de riscos dos trabalhadores, *International Journal of Working Conditions*, N.º 3.

<sup>62</sup> <http://www.gep.msess.gov.pt/edicoes/revistasociedade/anteriores.php> (5/04/2017).

<sup>63</sup> Nesta revista houve um número especial dedicado a “Organizações, emprego e condições de trabalho” (n.ºs 7 e 8 de dezembro de 1992).

casos em Portugal sobre as condições de trabalho em estações robotizadas, tem-se verificado que nas empresas portuguesas que utilizam novas tecnologias de produção, os acidentes de trabalho diminuíram em 35%. Embora estes dados não se refiram em especial às empresas com sistemas robotizados, nem se tenha realizado um estudo deste tipo nessas empresas, é muito provável que estes dados sejam bastante equivalentes aos da generalidade das empresas industriais modernizadas” (Moniz, 1990: 71). Podemos efetivamente extrapolar para a atual situação o que se passou nas empresas há quase três décadas. Provavelmente, a taxa de redução de acidentes de trabalho não seja tão elevada, devido sobretudo à melhoria geral das condições de trabalho nas empresas que têm tido processos de modernização tecnológica. Todavia, continuamos a ter um forte défice de informação estatística a este respeito.

Em simultâneo, não existe também informação sobre a relação da tipologia de acidentes de trabalho com as características dos sistemas produtivos, e em particular com o tipo de equipamento, para poder estabelecer uma relação entre a existência de acidentes de trabalho e o incremento de automatização dos sistemas produtivos. Ficaremos, assim, com alguns elementos indicativos e que poderiam contribuir para um debate necessário quando tanto se discute acerca da relação entre tecnologia e condições de trabalho.

No IECT mediu-se a intensidade de trabalho. Este índice mede o nível de exigências no trabalho: por exemplo, trabalhar a um ritmo acelerado sob pressão de tempo, e enfrentar desafios emocionais, tais como lidar com clientes irritados. Verificou-se que um terço dos trabalhadores na UE trabalha com prazos apertados e a um ritmo acelerado. Além disso, os trabalhadores no setor da saúde estão expostos a maiores níveis de intensidade de trabalho.

O envolvimento de cientistas sociais e cientistas de informática em pesquisas comuns sobre trabalho e tecnologia pode

contribuir para uma perspectiva holística dos problemas relacionados com a integração de seres humanos em ambientes automatizados<sup>64</sup> ou com o trabalho com robôs e pode ajudar a identificar soluções para melhorar as condições de trabalho.

A complexidade e a flexibilidade dos equipamentos de fabricação são reveladas, em particular, pela necessidade de programação ou reprogramação (*off* ou *online*) e pelo aumento da multifuncionalidade. Por exemplo, novos métodos de programação permitem a produção automatizada de pequenos tamanhos de lote ou mesmo peças de trabalho individuais, os desenhos feitos à mão com uma caneta digital podem ser transferidos automaticamente para programas de robôs, ou as trajetórias do robô podem ser definidas guiando o robô usando *feedback* tátil. Essas possibilidades técnicas podem justificar a adoção de alguns modelos de organização de tarefas que dão mais autonomia aos trabalhadores e melhoram os fluxos de comunicação entre diferentes grupos de trabalho e equipa técnica. O aumento da flexibilidade também pode permitir um melhor envolvimento dos operadores do sistema na decisão sobre melhores opções.

A segurança não é um problema novo, e apesar de muita pesquisa ter sido realizada recentemente neste campo, ainda não foi resolvida. O aspeto da segurança na automação de fabricação também deve ser considerado da perspectiva social. Outros aspetos que estão intimamente relacionados com a dimensão social tratam de *design* ergonómico, consciência da situação, avaliação de risco e qualidade da vida profissional. Assim, o tópico de investigação abrangente refere-se claramente às “implicações sociais da robótica”, que foi definida por Tranfield (1991), Eason (1996) e Das e Jayaram (2007). Como referiam Castillo e Prieto no seu estudo sobre as condições de trabalho, “do ponto de vista sociológico, as condições de trabalho deixam de ser um conjunto

---

<sup>64</sup> Ou ambientes complexos de trabalho, em inglês *complex working environments* (CWE).

interativo de dimensões avaliáveis em função da sua incidência nos trabalhadores para passar a ser um fenómeno social ou um conjunto de fenómenos sociais de significado diverso e definível pela mesma prática sociológica” (Castillo e Prieto, 1983: 264). Neste sentido, as pessoas que trabalham não devem ser entendidas como uma realidade fisiológica, mas como uma entidade psíquica e social. Portanto, quando se analisam as condições de trabalho em ambientes robotizados, não se devem analisar apenas as variáveis de carácter ergonómico, tais como a iluminação, ruído, temperatura, segurança e carga de trabalho. Nem apenas as variáveis associadas ao meio envolvente, como o setor de atividade da empresa, o seu tamanho, tipo de contratualização, tempo de trabalho.

Há que considerar também as variáveis de carácter social. E estas variáveis que dimensionam as condições de trabalho dizem respeito ao “sistema de comunicação, ao status, à estabilidade no emprego, à autonomia, às formas de participação, ao tipo de salário ou ao tipo de trabalho” (Moniz, 1992: 150). Por este motivo, apesar de a robótica poder contribuir para a melhoria das condições de trabalho, existem outras dimensões (para além das técnicas) que importa considerar para que essa melhoria se possa efetivar. Se um melhor instrumento de trabalho pode facilitar a execução de algumas tarefas, é necessário que esse instrumento esteja bem configurado para poder ser utilizado pelo seu operador humano de modo eficaz. Além disso, é necessário que esse operador consiga integrar de modo equilibrado esse instrumento no seu ambiente de trabalho. E estas não são condições ergonómicas, mas sobretudo sociais e psicológicas. Por este motivo, muitos especialistas de instalações robotizadas não compreendem que nem sempre os equipamentos que acabam de instalar funcionem como eles poderiam esperar. E nem sempre esses problemas se devem a disfunções técnicas, mas resultam antes de fatores humanos. Compreendê-los exige que percebamos que a organização do trabalho em ambientes complexos

não possui características técnicas dominantes. Geralmente, são as características humanas e sociais as que prevalecem para permitir o funcionamento esperado do sistema técnico.

## 5. A emergência das questões éticas, legais e sociais (ELS) da tecnologia

Investigar questões éticas, legais e societárias na robótica requer interação entre vários domínios e disciplinas tradicionalmente desligadas entre si na área da aprendizagem e do ensino, quer como especialização técnica, quer profissionalmente. Falamos, por exemplo, da filosofia, das ciências sociais, da legislação e, possivelmente, até da história e da religião. Isso torna complexo o diálogo entre especialistas em diferentes domínios. Um exemplo típico é a diferença de interpretação entre cientistas e advogados sobre o conceito de autonomia. Para os primeiros, um robô autónomo é uma máquina que toma decisões de acordo com a informação do sensor de forma mais ou menos determinista. Para os advogados (e provavelmente mesmo para a maioria do público), um robô autónomo toma sua própria decisão de acordo com a (sua) consciência. Um robô é por vezes considerado quase como uma entidade pós-humana.

A roboética é uma área específica do conhecimento, e significa uma ética centrada no ser humano aplicada à robótica. Trata-se de uma área capaz de orientar o projeto, a construção e o uso dos robôs e as suas interações com humanos. Este tema abrange muitas disciplinas, como a robótica, ciência da computação, inteligência artificial, filosofia, ética, biologia, fisiologia, ciências cognitivas, neurociências, direito, sociologia, psicologia e *design* industrial. Alguns dos tópicos tratados pela roboética são os seguintes:

- a) as variações societárias e culturais na aceitação da robótica;
- b) a privacidade;
- c) o impacto das mudanças tecnológicas no emprego;
- d) as implicações éticas de máquinas que matam ou ajudam a matar;
- e) atividade sexual e robótica (ou seja, parceiros de robôs);
- f) responsabilidade profissional e social;
- g) responsabilidade pessoal e corporativa;
- h) responsabilidade por danos;
- i) integração humano-máquina em um ambiente compartilhado;
- j) aplicação de princípios de precaução.

No entanto, estas questões de ELS deverão estar separadas. As questões éticas estão geralmente relacionadas com a necessidade de encontrar respostas em princípios deontológicos, deveres profissionais (por exemplo, o juramento hipocrático na medicina) e eventualmente sugestões para regulamentação, ou para novas leis (bioética). As questões legais envolvem sobretudo especialistas de diferentes domínios de leis, políticos e parlamentares, e geralmente resultam em diretrizes, regulamentos e leis. Em último lugar, as questões societárias exigem a participação de todas as partes interessadas num domínio. As soluções podem-se encontrar em ações das partes interessadas. Por exemplo, a ideia de que “a robótica aniquila os postos de trabalho” é contrariada pelo recente estudo Martech para a Federação Internacional de Robótica (IFR). Examinar as questões éticas, legais e societárias separadamente contribui para focar melhor a análise. Isso leva a uma clara compreensão e esclarecimento das questões levantadas. Além disso, impulsiona a organização de recomendações, visando domínios de especialização para futuras intervenções.

## 5.1. Especificidade da robótica?

Analisar as questões éticas, legais e sociais específicas da robótica visa compreender se as questões levantadas são problemas que ocorrem porque existe um agente robótico ou se esses problemas são mais gerais e podem ser criados para qualquer outra solução técnica. Seguir essa abordagem não significa que não prestemos atenção a problemas gerais relacionados com as questões de ELS. Mas esta maneira de analisar estas dimensões da robótica significa que tentamos adivinhar sempre se os problemas de ELS desaparecem ou não quando substituímos a palavra “robô” por “dispositivo”, ou então “robótica” por “tecnologia”, ou ainda “especialista em robótica” por “especialista em tecnologia”. De certa forma, nós projetamos o domínio da robótica num domínio mais amplo, incluindo a robótica.

Assim, podemos concluir que na generalidade não existirá especificidade, embora questões específicas de ética, ou relacionadas com aspetos legais e mesmo sociais, da tecnologia existam devido à experiência e ao tipo de aplicações da robótica. Os domínios mais próximos dos específicos da robótica são os relacionados com a inteligência artificial. Contudo, ainda aqui muitas questões aplicadas à inteligência artificial (por exemplo, as relacionadas com a tomada de decisão) podem dizer respeito à maioria das aplicações de robótica. Assim, não existindo uma especificidade, existe certamente um histórico de experiências que obrigam a uma maior atenção às experiências na área da robótica, sobretudo na sua relação com o trabalho humano.

## 5.2. Tópicos relacionados ao ELS que requerem mais investigação

### 5.2.1. Problemas éticos

Até agora, as análises éticas da robótica e das interações homem-máquina têm estado preocupadas principalmente com as questões relacionadas com a responsabilidade da tomada de decisões e com a capacidade de funcionamento desses sistemas técnicos. Especialmente em situações em que as capacidades de aprendizagem ou de operação em robótica e de inteligência artificial em ambientes parcialmente estruturados tornam os comportamentos das máquinas mais difíceis de prever e de controlar (Asaro 2014). A previsão e controlo são possíveis em ambientes completamente estruturados, mas existem muitas dificuldades nos ambientes menos estruturados, e mais semelhantes à vida real. As questões éticas adicionais que têm sido abordadas incluem também o respeito pela privacidade, a programação de decisões éticas em robôs e outros sistemas de TIC, as implicações éticas das relações emocionais humano-máquina (por exemplo, sobre robôs como cuidadores e assistentes), bem como questões éticas mais distantes relativas aos direitos de robôs e ao seu possível “estatuto moral” (Lin *et al.*, 2012, Capurro & Nagenborg, 2009).

Em termos de privacidade, os robôs assistentes possuem diferentes tipos de sensores para operar no ambiente de trabalho, evitar obstáculos, navegar e executar ações. Esses sensores incluem câmaras de vídeo ou de tempo de voo. Também pode ser o sensor que permite a avaliação da atividade de uma pessoa que opera um conjunto de máquinas ou dispositivos. As tecnologias assistenciais também possuem capacidades para armazenar informações adquiridas a partir de sensores e capacidades para se comunicar através de ligações sem fio para servidores.

Combinando essas capacidades podemos perguntar sobre a privacidade das pessoas que entram no campo de ação dos sensores do robô. Os problemas de privacidade na robótica assistencial devem ser enfatizados, pois esses robôs assistentes são na maioria das vezes móveis e movem-se no meio ambiente frequentemente de maneira autônoma.

Em termos de dignidade, às vezes é argumentado que o uso da robótica assistencial pode pôr em perigo a dignidade humana, uma vez que as máquinas poderiam “substituir” a assistência humana. Aqui novamente substituindo o conceito de “robô assistente” por “assistência técnica” podemos demonstrar que os robôs não são o agente que levanta essa questão ética. Os robôs de segurança, por exemplo, durante as suas missões, devem, evidentemente, enfrentar questões de privacidade estritamente relacionadas à grande quantidade de dados recolhidos, onde também estão envolvidas pessoas reconhecíveis. No entanto, essas questões são comparáveis às que afetam os sistemas de segurança existentes com recursos de armazenamento de dados.

Recentemente, os órgãos do Parlamento Europeu discutiram a questão dos sistemas de segurança automáticos e sublinharam a necessidade de futuras ações e regulamentos para questões relacionadas com a privacidade em relação aos sistemas de visão em máquinas à medida que a tecnologia se desenvolve (por exemplo, de monitoramento algorítmico automatizado, como o reconhecimento facial ou a monitorização de uma cena inteligente).

### 5.2.2. Questões societárias

Os desafios técnicos necessitam ainda de ser abordados de acordo com as questões sociais que podem levantar. Algumas dessas questões são apresentadas a seguir:

- Segurança: a interação física entre humanos e robôs representa um grande desafio se o robô também for capaz de realizar tarefas físicas significativas. Também precisamos de melhores métodos para eliminar falhas relacionadas com a segurança e garantir que não haja comportamento errático. É necessário certificar que os robôs não tocam nos operadores humanos, nem que danificam outros dispositivos de trabalho ou prejudiquem o ambiente de trabalho.
- Robustez: como podemos garantir que o robô se comporta de maneira apropriada, independentemente das circunstâncias? Por exemplo, mudanças simples em condições de iluminação ou humidade podem atualmente causar um comportamento significativamente divergente.
- Proteção de dados: como se pode garantir que dados importantes não sejam destruídos?
- Responsabilidade: quem é responsável por ações realizadas por sistemas autónomos?

Podemos ainda questionar se os elementos de segurança, robustez, proteção de dados e responsabilidade serão os únicos que dizem respeito às questões sociais. Certamente, não. Todavia, estes elementos implicam que se tenham em consideração os aspetos relativos à interação indivíduo-máquina, à conceção do robô para que seja inserido num ambiente de trabalho com humanos, e ao próprio desenho da organização do trabalho. E quando se consideram estes aspetos, as características demográficas, sociais e de definição dos papéis sociais em ambientes de trabalho devem ser tomadas em consideração. Trata-se, por conseguinte, de uma maneira indireta de se considerarem aspetos meramente sociais para poder responder a alguns temas derivados do desenvolvimento da tecnologia em ambiente de trabalho. No entanto, considerar todas estas dimensões e indicadores implica uma necessidade de promover um diálogo no interior das organizações que envolvam todos os participantes,

e não apenas os responsáveis técnicos. Os utilizadores das tecnologias devem também ser ouvidos e compreendidas as suas dúvidas e sugestões. Esta abertura implica, em si mesma, uma visão específica da organização do trabalho e do papel dos diferentes agentes no processo de desenvolvimento tecnológico. Por estes motivos, consideramos estas questões de forma autónoma e a requerer investigação adicional futura, pois têm sido ignoradas ou marginalizadas nesses processos. Os efeitos em termos de níveis de produtividade mais baixos que os esperados, ou ineficiências técnicas imprevistas, são reveladores desta necessidade.

### 5.2.3. Questões legais

Uma visão geral dos debates académicos mais recentes sobre questões legais relativas às tecnologias e sistemas robotizados revela esse interesse prevalecente para questões relacionadas com a responsabilidade e, mais especificamente, para critérios que permitem identificar o(s) ser(es) humano(s) responsável(eis) por delitos cometidos por robôs. A este respeito, alguns aprofundaram o tema da “agência moral” para as condutas dos robôs, construindo sobre os estudos dedicados a outro malfeitor não-humano, a empresa. Outros ainda, reconhecidamente numa perspetiva muito bem desenvolvida, perguntam-se se os robôs deveriam ser responsáveis por suas ações (Deva, 2012).

Uma notável exceção a este debate acerca da “tendência de responsabilidade” é oferecida pelo crescente interesse pelas aplicações militares da robótica, com especial atenção aos chamados sistemas de armas autónomas (AWS). Na verdade, embora a responsabilidade tenha sido examinada também a este respeito, essa preocupação com a responsabilidade é apenas uma parte de um debate mais amplo, que inclui tanto a questão de saber se os AWS podem cumprir os ditames do direito internacional humanitário (DIH), da legislação internacional dos direitos humanos (IHRL) e as consequências de uma implantação gene-

realizada de tecnologias AWS sobre a distribuição constitucional dos poderes de guerra e, mais em geral, sobre a proibição do uso da força sob a Carta das Nações Unidas (Egeland, 2016, Bhuta *et al.*, 2016 ). Quando os AWS são empregados fora de um verdadeiro conflito armado no contexto de uma operação de segurança (por exemplo, para matar um terrorista suspeito), as obrigações decorrentes da legislação internacional dos direitos humanos desempenham um papel crucial que deve ser cuidadosamente examinado. Ao realizar assassinatos direcionados através dos AWS, os Estados acabariam por usar “uma máquina pré-programada para desempenhar o papel de juiz, jurado e executor” – o que coloca dúvidas sérias sobre o cumprimento do direito de não ser arbitrariamente privado da vida e do direito a um julgamento justo (Hattan, 2015, Heins, 2016). Por conseguinte, os problemas legais com a utilização de sistemas autônomos têm sido analisados de modo consistente pelos especialistas em direito existindo já alguma jurisprudência associada.

Por exemplo, em relação aos robôs de assistência e de cuidados médicos, os documentos legais associados à robótica podem incluir a Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e a Convenção da ONU de 1989 sobre os Direitos da Criança. Deve ser dada especial atenção à interpretação contextual de várias disposições que se encontram no cenário jurídico internacional e que dizem respeito à promoção e proteção do direito humano de participar na vida social, cultural e pública. Essas disposições devem ser interpretadas no contexto de estudos de caso da robótica. Assim, por exemplo, na área de interações humano-robô, essas disposições devem ser analisadas em relação à vigilância e controle de humanos (atividades realizadas por robôs, simulações enganosas de emoções e interações linguísticas humano-robô muito empobrecidas). Deve ser dada especial atenção às seguintes dimensões:

- interações criança-robô e às suas implicações de direitos humanos à luz de estudos científicos relevantes, que incluem, nomeadamente, a teoria psicológica do apego,
- descobertas na neurociência do desenvolvimento sobre a interferência da privação emocional e social precoce com desenvolvimento normal do cérebro e
- trabalho psicológico sobre o desenvolvimento emocional unidirecional relacionamentos com robôs.

Além disso, as leis e os regulamentos são diferentes entre os países europeus e essa falta de homogeneidade para as organizações de certificação na Europa implica uma multiplicidade de regras que impedem o desenvolvimento da robótica e outras tecnologias automatizadas. Em comparação com os EUA, onde a legislação em todos os estados é comum e reduzida, a legislação europeia parece ser bastante onerosa, obstruindo a inovação.

O Japão, os EUA e a Coreia do Sul parecem ter regulamentos muito mais leves do que a Europa. A legislação deve ser uma ferramenta que ajude a inovação e deve definir regras claras a serem seguidas. Ela deve antecipar ou seguir de perto o surgimento de algumas tecnologias e não apenas esperar que as tecnologias apareçam antes de dizer que elas não são legais.

Uma solução para este problema seria aumentar a responsabilidade das pessoas que programam os robôs. Outra solução seria criar um quadro jurídico comum para a robótica na Europa, o que significa uma articulação mais forte dos peritos portugueses com as instituições europeias de normalização. A falta de um quadro legal para a robótica pode aumentar dramaticamente o tempo de mercado.

#### 5.2.4. Problemas comuns (ELS)

Como o debate sobre os AWS deixa claro, as questões éticas e legais decorrentes do uso da robótica vão muito além das meras

questões de responsabilidade. Os casos significativos em questão são o direito ao acesso a cuidados de saúde robóticos; os efeitos da robótica industrial, de campo e de serviços nas condições de trabalho dos humanos associados (operadores); o impacto dos robôs de cuidados na vida familiar e social, especialmente em conexão com grupos vulneráveis de cidadãos.

Além disso, uma atenção especial deve ser dedicada a tecnologias e sistemas em robótica industrial, de campo e de serviços, onde funções de trabalho qualificadas para robôs estão sendo desenvolvidas (Moniz e Krings, 2016). De facto, os robôs qualificados no local de trabalho têm um elevado potencial de alterações das HRI existentes e levantam questões éticas e de direitos humanos importantes, incluindo dignidade no trabalho, respeito pela autonomia humana, responsabilidade e capacidade de controlo, identidade humana e problemas de desenvolvimento da personalidade. O aumento da capacidade de autonomia das máquinas em ambientes de trabalho pode levar a um isolamento de seres humanos. Os efeitos nos níveis de competências, de qualificações e competências humanas também podem ser considerados quando o nível de automação é aumentado (Moniz, 2015). Mais casos de desemprego tecnológico também podem levantar questões sobre justiça e sobre os benefícios que a sociedade pode tirar do desenvolvimento tecnológico e dessas aplicações na vida diária. Esse tipo de situação deve ser abordada por comissões consultivas e regulatórias sobre questões éticas complexas.

É necessário também avaliar as implicações do ELS o mais rapidamente possível também para as tecnologias que ainda não estão disponíveis (ou seja, tecnologias de baixo “Readiness Level”, TRL), a fim de manter esses problemas o mais rapidamente possível, evitando problemas que serão mais difíceis de resolver quando o produto ou a tecnologia está quase pronto para a sua comercialização.

A maioria dos clientes da indústria ainda ignora o impacto ELS dos produtos e das tecnologias (cf. euRobotics Forum 2011)

e os problemas ELS são vistos como um obstáculo para a introdução de dispositivos robotizados no mercado.

O que está a faltar agora é um debate público e um acordo sobre como os futuros utilizadores (ou seja, os operadores de máquinas e os membros que trabalham nas empresas em geral!) querem que os produtos autónomos robóticos sejam projetados considerando o seu impacto na coexistência social humano-humano. Com efeito, sistemas autónomos podem desequilibrar a relação entre humanos nos ambientes de trabalho, pois toda a atenção é dada para o papel do robô na relação com os humanos. Como referimos mais atrás, as questões sociais, éticas e legais podem ser consideradas de modo individual, mas as soluções para problemas detetados implicam uma articulação dessas questões.

O desenvolvimento da tecnologia robótica para aplicar em ambientes de trabalho deve considerar estas questões de modo conjunto, sobretudo quando estes ambientes já contêm modelos de governância estabelecidos e formas de organização que foram negociadas entre os diferentes atores sociais antes da instalação dos novos equipamentos. Pode acontecer que existam já problemas legais e éticos identificados e modelos estabelecidos e que os novos produtos robóticos impliquem alterações nesses modelos. Situações conflituais podem ser prevenidas se estas dimensões ELS forem consideradas em fases muito precoces do processo de mudança. E além de serem prevenidas, a instalação dos novos sistemas pode (deve) ser feita de maneira mais equilibrada e aceite. A sua funcionalidade é então um elemento mais num modelo negociado e discutido. E certamente, desse modo, a interação entre os indivíduos e os robôs pode ser estabelecida com resultados positivos para todos, inclusivamente para aqueles que desenvolvem a tecnologia e investigam novos tipos de aplicações.



## 6. O desenvolvimento da robótica em Portugal

Considerando o contexto de desenvolvimento da robótica de um ponto de vista geral, e do ponto de vista das áreas de aplicação, e compreendendo o contexto em que Portugal se tem desenvolvido economicamente e tem desenvolvido o seu mercado de trabalho, teremos então a possibilidade de conhecer a potencialidade da robótica em Portugal.

Os exemplos de atividades pioneiras na robótica em Portugal permitem-nos perceber que existem competências que se vêm constituindo em Portugal desde há várias décadas. As principais universidades têm desenvolvido as suas capacidades de investigação e ensino nesta área. Têm ainda empreendido laboratórios equipados que lhes permitem integrarem-se em projetos de investigação internacional, capacitando-as para acompanharem os desafios avançados da engenharia robótica e da inteligência artificial.

Mas, para além da construção de competências académicas, será necessário reconhecer que as competências de aplicação também têm dado passos muito importantes no nosso país. Com efeito, as aplicações industriais aconteceram em paralelo com os primeiros grandes projetos de investigação em robótica. Aconteceram com os programas PEDIP quando se articularam grandes investimentos de modernização indústria nos anos 90. Já existiam algumas experiências pioneiras, mas os grandes investimentos nesta área começaram nesse período. Mais tarde acompanharam os investimentos diretos estrangeiros que recor-

reram a esta tecnologia. Podem, assim, ser definidas as grandes tendências de desenvolvimento da robótica em Portugal, quer na investigação, quer na indústria e nos serviços.

Finalizaremos este capítulo com a definição dos campos de investigação em robótica em Portugal. Em grande medida decorrem das colaborações internacionais em projetos europeus, e decorrem também de programas nacionais pontuais que apoiam iniciativas de apetrechamento de laboratórios. Mais recentemente, a Fundação para a Ciências e a Tecnologia, com o apoio do Ministério da Ciência Tecnologia e Ensino Superior lançam a agenda nacional sobre “Trabalho, Robotização e Qualificação do Emprego em Portugal” que irá lançar o debate público durante o ano de 2018.

## **6.1. Exemplos de atividades pioneiras na robótica em Portugal**

A atividade relacionada com a robótica em Portugal não é recente. Nos anos da década de 1980 iniciou-se o primeiro projeto nacional que envolveu a colaboração das várias universidades que tinham competência nesta área: o projeto UNIROB. Foi um projeto financiado pela JNICT e pela FLAD.

Entretanto, o projeto foi possível porque já existia alguma investigação pioneira nas principais faculdades de engenharia do país, como sejam, o IST-UTL, na FEUP e na FCT-UNL. Mas escolas das Universidade do Minho e de Aveiro também estiveram envolvidas.

Os primeiros casos de aplicação industrial aconteceram em diferentes setores: material elétrico, fabricação de material de transporte. Não se conhecem estudos realizados sobre a gênese da robótica em Portugal.

Entre os primeiros projetos de investigação em ciências sociais realizados sobre automação e robótica em Portugal pode

referir-se o estudo de António A. Costa e de J. Andrade Silva sobre “modernização tecnológica na indústria portuguesa” publicado na revista *Economia e Socialismo* (Costa e Silva, 1987), e ainda o projeto “Análise sociológica da mudança tecnológica e organizacional do trabalho industrial: impacte sobre os modelos cultural e de participação” (Moniz, 1989: 118). Aí iniciaram-se os estudos de caso, que foram mais tarde incluídos em diversos trabalhos publicados a partir de 1987 (inclusive). Neste projeto da JNICT e FCT-UNL foi possível – pela primeira vez em Portugal – iniciar-se a recolha de documentação videográfica com base na análise de casos portugueses com aplicação de sistemas automatizados e robotizados. No entanto, alguns aspetos mereciam ser desenvolvidos, sobretudo ao nível da metodologia de previsão económica, tecnológica e social. A partir de 1988, esses aspetos tiveram um tratamento autónomo num projeto do Grupo de Robótica Inteligente-UNL, inicialmente financiado pela Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento.

A Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento suspendeu o seu financiamento ao projeto “Implicações Sociais e Económicas da Automação na Indústria Portuguesa (anos 80-90)”<sup>65</sup>, e a JNICT ainda não financiou a última fase do projeto iniciado em 1985. Assim, apesar de o projeto inicialmente financiado pela FLAD ter continuado no âmbito das atividades da Linha de Ação “Implicações Sociais” do Grupo de Robótica Inteligente-UNL, o projeto da JNICT e FCT-UNL viu suspensa a possibilidade de publicar os resultados do projeto e de o divulgar através de outros meios que não o de exclusivamente editar o trabalho final da investigação. É necessário sublinhar que o Grupo de Robótica Inteligente-UNL, e depois o Centro de Robótica Inteligente do UNINOVA-Instituto para o Desenvolvimento de Novas Tecnologias, apoiaram diversas atividades

---

<sup>65</sup> Neste projeto participaram Ilona Kovács, Maria João Rodrigues, Augusto Mateus, António B. Moniz e Cláudio Teixeira.

relativas a estes projetos, sobretudo no que diz respeito a equipamento informático, apoio a contactos com colegas estrangeiros pela via da participação em congressos e *workshops* internacionais, e aquisição de meios bibliográficos de apoio à atividade de investigação fundamental.

Apesar de terem terminado essas duas primeiras fases deste programa de investigações (a primeira fase compreende o projeto da JNICT e FCT-UNL e a segunda fase os projetos UNIROB e da Fundação Luso-Americana), as atividades continuaram e desenvolveram-se exponencialmente envolvendo instituições como o Grupo de Robótica Inteligente-UNL, o UNINOVA e a empresa CESO I&D, Investigação e Desenvolvimento. Foi assim possível iniciar a participação portuguesa em projectos internacionais do Vienna Centre (centro de documentação em ciências sociais da UNESCO e sediado em Viena), o SIG-3 do CIM-EUROPE (no âmbito das atividades do programa europeu ESPRIT), o FAST, o MONITOR e o SPRINT (todos coordenados pela Direção-Geral de Investigação da Comissão Europeia).

Foi um período pioneiro e totalmente inovador onde a colaboração entre cientistas sociais, informáticos e engenheiros foi bastante intensa. Desse ponto de vista, a visão do Prof. Adolfo Steiger Garção da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa foi absolutamente ímpar e fundamental.

No estudo de Costa e Andrade Silva (1987), referia-se a existência em 1985 de quatro empresas que utilizavam robôs, “sendo três do setor da indústria do metal e um manipulador do setor têxtil, o que representava 6% da amostra utilizada no estudo” (Moniz, 1990: 60). Nesse mesmo ano (1987) um outro estudo de Kovács, Steiger-Garção e Moniz referia que, devido à dificuldade em se encontrar um número suficiente de operários qualificados em Portugal, em particular no setor do metal, “é devido à crescente importância dos novos requisitos de produção, é muito possível que se venha a investir mais nos próximos anos em

sistemas robóticos” (Kovács, Steiger e Moniz, 1987, citado por Moniz, 1990: 68).

Em 1990, Victor Cardial publica um artigo na revista *Robótica e Automatização* intitulado “A flexibilidade como objetivo” onde analisa vários aspetos relacionados com a instalação de robôs. O autor referia que a instalação de uma célula robotizada implica o investimento no robô, nas máquinas de apoio, nos acessórios e nos posicionadores. Além disso, os custos dessa instalação devem compreender ainda o projeto, o funcionamento inicial, a formação e as perdas iniciais de produção (Cardial, 1990: 27). Tudo isso implicava, a preços de 1990, investimentos na ordem dos 82,5 mil euros que podiam ir aos 175 mil euros, sendo que o preço de um robô em si não ultrapassaria os 50 mil euros. Os preços destes equipamentos podem não ser muito diferenciados hoje em dia. No entanto, as capacidades financeiras das empresas eram muito diferentes. Nesses anos, a capacidade de investimento nesta tecnologia era bastante menor, quase exclusiva de algumas empresas com capacidade financeira para tal, e sobretudo seria necessário que as suas prioridades de modernização estivessem praticamente resolvidas para poder avançar para uma fase onde o recurso a esta tecnologia fosse imprescindível. Hoje em dia, as infraestruturas tecnológicas instaladas permitem que as opções por esta tecnologia sejam maiores. Só o não terão sido devido às restrições financeiras no apoio ao investimento patentes no setor bancário durante a última década.

Como foi também referido por Moniz (1990: 68), a necessidade de maior investimento em sistemas robotizados na indústria portuguesa parece relacionar-se com o facto de grande parte das empresas inovadoras precisarem de ter elevados níveis de produtividade para se manterem competitivas. “É, no entanto, evidente que ao mesmo tempo que se investe em sistemas robotizados, também se deverá investir em recursos humanos (formação, requalificação) sob pena de esses sistemas virem a tra-

zer mais problemas do que os que normalmente são esperáveis (paragens excessivas, avarias)” (Moniz, 1990: 68).

A Sociedade Portuguesa de Robótica foi criada por escritura pública em 28 de abril de 2006 como uma associação sem fins lucrativos cujo principal objetivo é o de promover e estimular o ensino, a investigação científica, o desenvolvimento tecnológico e as aplicações (indústria e serviços) na área da robótica, conforme se pode ler nos estatutos. Esses objetivos serão conseguidos através de várias ações, as quais incluem, entre outras: o Festival Nacional de Robótica, publicações regulares, seminários e encontros<sup>66</sup>.

As atividades no domínio da robótica são, por conseguinte, relativamente recentes. Iniciaram-se na década de 1980 e são dominadas pela transferência de tecnologia para a indústria portuguesa e pelo desenvolvimento da investigação portuguesa nesta nova área de especialização. O movimento associativo nesta área deu alguns passos iniciais e pouco documentados na fase pioneira, mas apenas em meados da década de 2000 tomaram forma. No entanto, este desenvolvimento recente é ainda caracterizado por alguns problemas, nomeadamente:

- a) A investigação científica em robótica é feita sobretudo pelas áreas de engenharia (eletrotécnica, informática e mecânica);
- b) Nos últimos anos a investigação depende sobretudo da capacidade de envolvimento da comunidade científica portuguesa em projetos europeus;
- c) Existe ainda uma forte separação entre a comunidade académica e a comunidade empresarial nesta área;
- d) O envolvimento da investigação em ciências sociais no domínio da robótica é ainda residual, ao contrário do que se passa noutros países europeus;

---

<sup>66</sup> [http://www.srobotica.pt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=46&Itemid=71](http://www.srobotica.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=71) (14/06/2017).

- e) Existem muito poucas publicações em língua portuguesa sobre o desenvolvimento em robótica em Portugal;
- f) Não existe informação estatística atualizadas sobre o parque de equipamento robóticos em Portugal;
- g) As agências nacionais das áreas de inovação e investimento empresarial não procuram informação ou promovem estudos sobre a potencialidade de desenvolvimento da robótica em Portugal;
- h) As associações empresariais e sindicais ainda não promoveram estudos sobre os impactos da robótica na produtividade e no emprego;
- i) Poucos centros de investigação do sistema nacional de inovação consideram esta área no âmbito das suas atividades;
- j) A Autoridade para as Condições de Trabalho não possui informação sobre o grau de importância que esta tecnologia tem em Portugal.

Poderíamos considerar ainda outros problemas, mas estes permitem que sejamos de algum modo cautelosos acerca das potencialidades de endogeneização do conhecimento científico que é feito acerca da robótica em projetos internacionais para o tecido empresarial e social português. Existem algumas excelentes exceções, mas uma certa dearticulação torna este domínio do conhecimento ainda demasiado dependente do que é feito noutros países. A extrapolação é realizada de modo muitas vezes abusivo, e o debate público sai relativamente fragilizado. Algumas novas iniciativas podem, todavia, mudar este cenário mais negativo, e poderão criar maior interesse público nesta área de inovação técnica e social.

## **6.2. A Agenda nacional sobre “Trabalho, Robotização e Qualificação do Emprego em Portugal”**

Entre os objetivos da construção das agendas nacionais de Investigação e Inovação (AI&I) pretendeu o Governo no início de 2017 definir uma Agenda de longo prazo (até 2030) que inspirasse os processos de decisão de diferentes atores nacionais, nomeadamente o envolvimento internacional suscetível de contribuir para o desenvolvimento científico e tecnológico da área científica em causa. E pretendeu ainda potenciar as competências e capacidades nacionais com vista a encontrar soluções e respostas para os problemas, identificar as oportunidades e os desafios da sociedade portuguesa e a nível internacional.

Foi constituído um Grupo de Peritos da área resultante de uma auscultação inicial da comunidade científica e tecnológica, refletindo diversidade disciplinar e temática, o qual foi encarregado da redação dos conteúdos de especialidade da agenda. Os subtemas da agenda definidos logo desde início pelos peritos foram os seguintes:

- Transformação Tecnológica e novos modelos de trabalho;
- Robotização Avançada, Sistemas Autónomos, Sistemas Automáticos e Inteligência Artificial;
- Qualificação das pessoas, competências digitais e fatores de empregabilidade;
- Robotização como desafio para a sociedade portuguesa.

Mais tarde os subtemas foram mais bem discutidos, e acabaram por ser apenas três sobre os quais se elaboraram os textos:

- Robotização Avançada, Sistemas Autónomos e Inteligência Artificial e Novos Modelos de Trabalho;
- Qualificação das Pessoas, Competências e Fatores de Empregabilidade;

- Desenvolvimento da Robotização e da Inteligência Artificial como fonte de Desafios e Oportunidades para a Sociedade.

Os debates foram bastante intensos e percorreram um conjunto de preocupações relacionadas com as áreas de conhecimento dos peritos. De salientar que os peritos ativos na elaboração desta agenda tinham variadas competências, como engenheiros, informáticos e sociólogos. Procurou-se, assim, encontrar na análise um equilíbrio entre as dimensões tecnológicas e as do trabalho e qualificações, associando os problemas que podem vir a afetar a sociedade portuguesa. Por exemplo, que atividades são habitualmente feitas por pessoas e que podem ser mais bem realizadas (mais rapidamente, com menos custos) por máquinas? Ou ainda, que novas funcionalidades surgem dos sucessos dessas máquinas?

Como pode Portugal inovar em robotização foi também uma questão aberta nessa reflexão. Pensou-se sobretudo num sentido lato, incluindo a robótica com uma forte componente eletromecânica, mas também todos os agentes inteligentes artificiais com ou sem interação com pessoas. Essas duas dimensões são particularmente importantes pois requerem a existência de uma capacidade industrial de apoio, e não apenas nas áreas de ciências de computação. Alguns exemplos da robótica não associada à indústria podem também dizer respeito à criatividade computacional, ao jornalismo, à geração de texto, aos estudos de língua e tradução. Existem, pois, áreas de inovação onde Portugal poderia assumir uma estratégia competitiva apoiando a cooperação entre a indústria e outras áreas da esfera de serviços culturais. Mas, para isso, é necessário ser dada particular atenção à transformação tecnológica na robótica e na inteligência artificial. Essas apostas de inovação necessitam de ser articuladas com estas transformações.

A Agenda propõe que se tenham em conta as perspetivas sobre a evolução da robotização em Portugal e as relações com novos modelos de trabalho. Este domínio carece ainda de

conhecimento em Portugal e as experiências apenas seguem o que se tem feito noutros contextos nacionais. Não existem projetos de investigação nacionais sobre este domínio, e as atividades de investigação que se conhecem são realizadas em âmbito de projetos europeus. Esta preocupação deveria ter em conta, em particular, a informação sobre que setores da economia portuguesa irão ser potencialmente mais afetados com a introdução de sistemas automatizados ou robotizados. Nenhuma informação existe sobre isso. A robótica na área da indústria e logística e o seu impacto no emprego deveria merecer uma atenção particular, sem esquecer os impactos noutros sectores, tais como os serviços, a saúde, os transportes, a agricultura.

As questões das relações entre qualificações e emprego num contexto de tendencial reforço da economia digital deverão ser analisadas no quadro de desenvolvimentos específicos expetáveis:

- Impacto da inteligência artificial (IA) no emprego, na formação, no ensino. O que vão as pessoas fazer? O que têm de aprender? Quais serão os fatores de empregabilidade e as novas competências no futuro?;
- Como prevenir o desemprego tecnológico? Quais as profissões potencialmente mais afetadas pela automatização e quais as necessidades de formação e requalificação para a operação e controlo de robôs?;
- Que tipo de trabalho vai deixar de estar disponível para as pessoas. Vão surgir novos trabalhos e novas formas de trabalhar;
- Dificuldade em imaginar cenários para 2030, dada a imprevisibilidade de evoluções e eventos disruptivos possíveis, o que tornará complexas as previsões em base estáveis;
- Evolução demográfica e efeitos de complementaridade entre países (a evolução demográfica de um país pode ser um problema num país e uma oportunidade noutro);
- Quais os efeitos da hiperconectividade na sociedade, quer a nível das organizações quer das máquinas?;

- Que transformações tecnológicas se podem configurar na robótica e IA e quais as relações com o trabalho?;
- Perspetiva/possibilidade de polarização na criação de emprego – com criação de alguma dicotomia social – com mais emprego disponível para os muito qualificados e para os pouco qualificados e menor oferta para os que estão no “meio”;
- A automação do trabalho industrial nada tem a ver com a utilização de robôs em ambiente médico-hospitalar, e quais as implicações ao nível do desenvolvimento de competências nestes dois tipos de ambientes de trabalho?;
- A sociedade deve impor limites éticos à IA?;
- Podem as pessoas trabalhar em parceria com a IA, e não numa lógica de concorrência?

Este tipo de questões são as que usualmente são colocadas no debate público, mas a sua resposta requer uma abordagem interdisciplinar. Quer a engenharia, quer as ciências sociais desenvolvem abordagens que permitem responder a muitas destas questões de uma maneira mais completa. Mas estas abordagens interdisciplinares não só não têm tradição e massa crítica em Portugal, como os programas de investigação não estão permeáveis ao seu desenvolvimento. Essa foi uma das razões para o estabelecimento desta temática como agenda nacional de investigação e inovação.

### **6.3. Campos de investigação em robótica em Portugal**

Os campos de investigação têm sido definidos com base na experiência dos laboratórios nacionais e dos centros de investigação. Essa experiência decorre sobretudo da ligação estabelecida com as redes europeias (e algumas norte-americanas) de investigação. É de notar que não existe nenhuma relação sustentável e dinâmica com o meio empresarial que já detém experiência nesta área. Existe muito pouca interação das universidades

e seus centros de investigação com os departamento de engenharia e desenvolvimento tecnológico das empresas que já têm experiência neste domínio.

As áreas focais da investigação em robótica referida no livro branco foram as seguintes:

- Sistemas Avançados de Produção;
- Robôs de Serviços Adaptativos;
- Robótica em Rede e Casas Inteligentes;
- Cuidados de Saúde e Qualidade de Vida;
- Sistemas de Transporte e Logística;
- Segurança, Vigilância e Monitorização;
- Educação e Entretenimento;
- Robótica Espacial.

Existem, no entanto, outras áreas que esse documento não refere. Uma área central diz respeito aos estudos de impacto social. Desde os anos 80 que existe investigação neste domínio, bem articulada com redes internacionais de investigação e de cooperação científica, algumas já referidas no início deste capítulo. Além disso, nota-se que as áreas correspondem de algum modo às agendas de investigação das plataformas tecnológicas internacionais.

#### **6.4. As aplicações industriais**

No estudo acima referenciado sobre a modernização tecnológica na indústria portuguesa (Moniz, 1989), referia-se que algumas empresas implementaram sistemas de conceção assistida por computador CAD (5,3%) e fabricação assistida por computador CAM ou CAD/CAM<sup>67</sup> (6,5%). O tipo de maquinaria domi-

---

<sup>67</sup> *Computer aided design/computer aided manufacturing.*

nante em cada unidade produtiva foi considerado um fator revelador dos efeitos da inovação tecnológica efetuada, ou do tipo de investimento realizado. Algumas empresas que introduziram sistemas robotizados ou de manipulação automatizada referiam-no em “outras” (pouco mais de 2%). Nesse estudo verificou-se que “é o aumento de produtividade a consequência mais importante da introdução de inovações. Além disso, são os objetivos associados à competitividade (como, por exemplo, o aumento de produtividade e a melhoria do nível tecnológico) os que preocupam a maioria das empresas portuguesas” (Moniz, 1989: 159).

Nesse período conheceu-se também outro tipo de situação que ainda hoje se verifica. “Nalguns casos tem acontecido que as empresas mais experientes enquanto utilizadoras de equipamento robotizado têm sido capazes de adaptar o equipamento adquirido utilizando tecnologia própria (...) e acabam por formar ‘escola’ e fornecer os seus especialistas a outras empresas que pretendem introduzir novos equipamentos” (Moniz, 1990: 68). Trata-se de um fenómeno de transferência de conhecimento interno ao próprio setor ou à mesma região. O sistema de “aprendizagem” pode desenvolver-se num mesmo setor induzido também pelas associações empresariais ou pelos centros tecnológicos de setor. No entanto, nessas décadas finais do séc. XX, essa transmissão de informação e de experiência resultava de uma cooperação interempresarial.

Um outro trabalho posterior especificamente sobre a aplicação de robôs em Portugal referia a evolução recente das instalações robotizadas no nosso país. Aí observava que “estes dados devem ser entendidos com a reserva resultante do facto de terem sido obtidos a partir de contactos com diversos industriais e com a recolha de dados realizada no âmbito de um projeto da UNIDO<sup>68</sup> sobre robótica industrial, coordenado pelo Centro de Robótica Inteligente (UNINOVA)” (Moniz, 1990: 67).

---

<sup>68</sup> United Nations Industrial Development Organization.

**Quadro 18**  
**Distribuição de robôs instalados por setores**  
 (percentagem)

setores	1988	1990	$\Delta$ 1990-88
Cerâmica	7,89	8,16	+0,27
Eletrônica	5,26	6,12	+0,86
Têxtil	5,26	8,16	+2,90
Formação	7,89	12,24	+4,35
Produção metálica	47,37	38,78	-8,59
I&D	26,32	26,53	+0,21

Fonte: Moniz, 1990: 67 (quadro 8)

Neste estudo verificou-se que a maioria dos robôs eram utilizados na função de carga e descarga de máquinas-ferramentas. Outro tipo de robôs em crescente utilização eram os robôs de soldadura. “Este tipo de máquinas de manipulação são máquinas de precisão requeridas normalmente para ocuparem postos de trabalho com deficientes condições e onde existem critérios de qualidade e produtividade muito elevados. Não serão, portanto, máquinas que serão utilizadas com o propósito de eliminar postos de trabalho humanos, mas serão sobretudo utilizadas nos postos onde haja necessidade de profissionais altamente qualificados” (Moniz, 1990: 69). Esta conclusão pode ser bastante importante porque nos remete para o problema de fundo da discussão acerca das características de substituição e de complementaridade que esta tecnologia tem no mercado de trabalho. Seria, por conseguinte, necessário saber qual a situação atual em termos de quantidade e de tipo de aplicação que a robótica tem tido na estrutura produtiva portuguesa. Essa informação seria fundamental para conhecermos as potencialidades do seu desenvolvimento num horizonte de 10 a 20 anos.

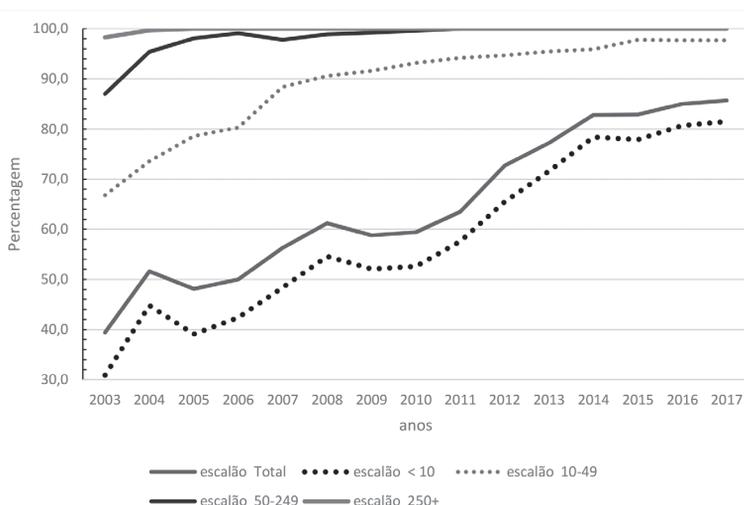
Se no início do processo de automatização industrial em Portugal os setores mais afetados eram o setor automóvel, setor de material elétrico, setor de maquinaria agrícola, setor da indústria têxtil e setor de material cerâmico, podemos presumir que esses setores ainda hoje aplicam este tipo de tecnologias. Mas haverá outros setores propensos à automatização? Quais? Como é possível saber?

No mesmo estudo que temos vindo a referir, diz-se que “os tipos de robôs mais comuns são os de soldadura, de pintura e de manipulação (de carga e descarga ou de montagem). Praticamente todas as empresas que utilizam robôs de soldadura o fazem para poderem garantir maior fiabilidade e qualidade na soldadura de elementos relativamente complexos e em médias séries. Os robôs de montagem são normalmente de tipo ‘Scara’, e são principalmente utilizados na montagem sobre mesas de componentes microeletrónicos ou metálicos” (Moniz, 1990: 69).

Em nossa opinião, uma aproximação pode ser feita pela observação da capacidade existente das empresas estarem ligadas ao mundo digital, pois isso é condição para poderem utilizar sistemas programáveis nas suas atividades produtivas. No gráfico da página seguinte, podemos ter uma primeira impressão.

Com efeito, pode ser surpreendente que hoje em dia nem todas as empresas tenham ligação à Internet. Mas mais surpreendente é saber que esse número era bastante maior, ou seja, que, por exemplo, a indústria transformadora tenha tido em 2003 uma média de cerca 65% das suas empresas com essa ligação, quando o total médio era de 70%. Com efeito, somente em 2011 é que a quase totalidade das empresas passaram a usufruir dessa ligação.

**Gráfico 10**  
**Empresas com ligação à Internet em % do total de empresas:**  
**por escalão de pessoal ao serviço**



Fontes de Dados: INE – Inquérito à Utilização de Tecnologias da Informação e da Comunicação nas Empresas (IUTICE)

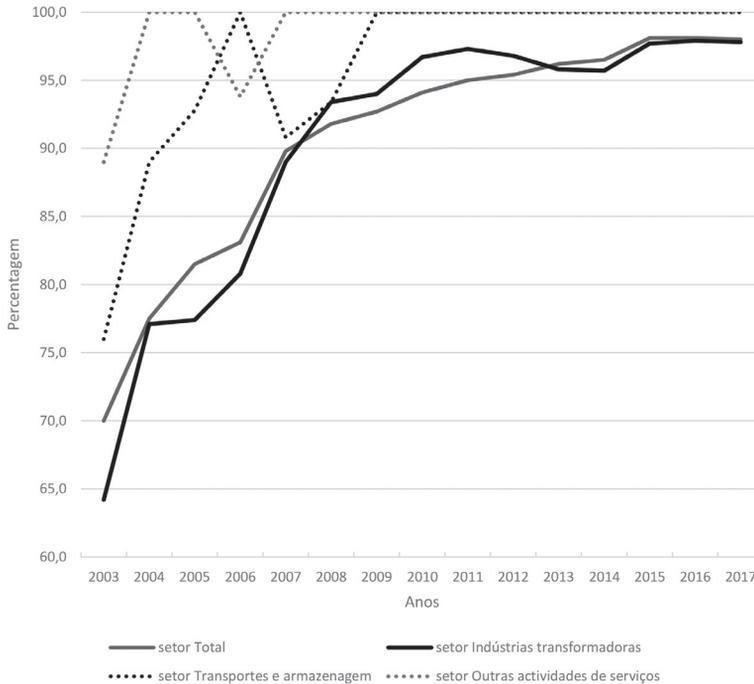
Fonte: PORDATA (última atualização: 2017-11-21)

Neste gráfico, verificamos que são sobretudo as maiores empresas que têm acesso à Internet. As empresas no escalão de 10 a 49 pessoas ao serviço apenas muito recentemente tem tido capacidade em aceder à Internet. O papel dos serviços públicos pode ser também importante ao exigir que um conjunto de acessos de informação (para pagamento de impostos, pagamento de serviços e outros) sejam feitos apenas pela Internet. As mais pequenas (ou microempresas, com menos de 10 trabalhadores) são que se encontram ainda mais atrasadas neste processo, com efeitos claros na média nacional.

E no gráfico seguinte (Gráfico 11) apresentamos a informação relativa aos setores produtivos.

**Gráfico 11**

**Empresas com 10 e mais pessoas ao serviço com ligação à Internet em % do total de empresas: por setor de atividade económica**



Fontes de Dados: INE - Inquérito à Utilização de Tecnologias da Informação e da Comunicação nas Empresas (IUTICE)

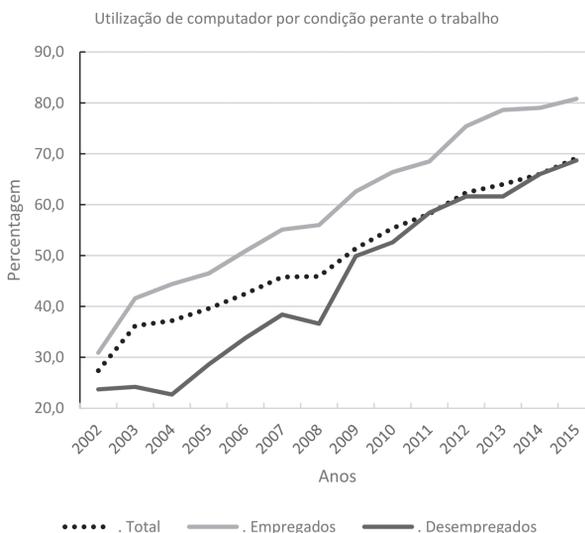
Fonte: PORDATA (última atualização: 2017-11-21)

Isto significa que até muito recentemente não estavam estabelecidas condições de acesso à Internet para os agentes da atividade produtiva nacional. Certamente, existiram problemas de falta de capacidade interna das empresas em alguns casos, e noutros a infraestrutura de telecomunicação era deficiente a nível nacional. Tudo isso representou um enorme atraso quando tomamos os dados de forma global e verificamos as médias conseguidas.

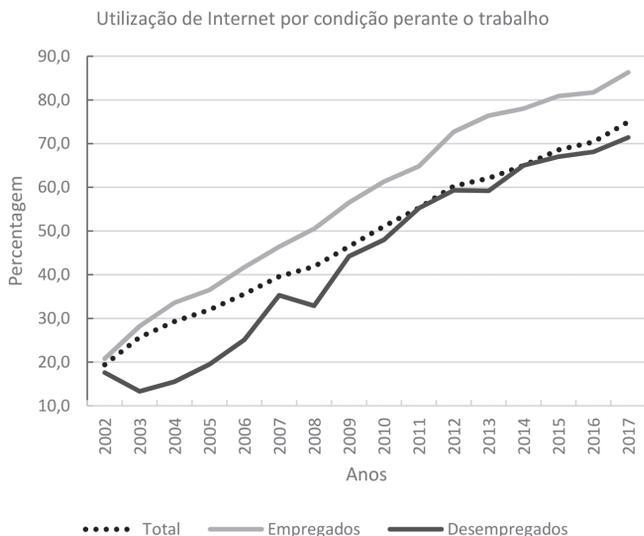
Existiam certamente muitas empresas que tinham esse acesso e já se inseriam há muito nas redes produtivas a nível internacional. Mas essa capacidade não foi generalizada. E as dificuldades encontradas podem ter afetado o modo como as que tinha acesso à Internet se poderiam relacionar com as outras empresas a nível local, regional ou nacional. Em particular, isso pode ser importante quanto sabemos que as redes de subcontratação são cada vez mais importantes para um relançamento da economia regional e nacional.

Mas, se as empresas atualmente já se encontram “ligadas” à Internet, o mesmo não se pode dizer em relação às pessoas. O gráfico seguinte dá-nos uma melhor informação acerca da utilização de computador e acesso à Internet pelos indivíduos com mais de 16 anos de idade e mediante a sua condição perante o trabalho.

**Gráfico 12**  
**Indivíduos com 16 e mais anos que utilizam computador em % do total de indivíduos: por condição perante o trabalho**



**Gráfico 13**  
**Indivíduos com 16 e mais anos que utilizam Internet**  
**em % do total de indivíduos: por condição perante o trabalho**



Fontes de Dados: INE – Módulo do Inquérito ao Emprego (em 2001 e 2002) | Inquérito à Utilização de Tecnologias da Informação e da Comunicação nas Famílias (a partir de 2003)  
 Fonte: PORDATA (última atualização: 2017-11-21)

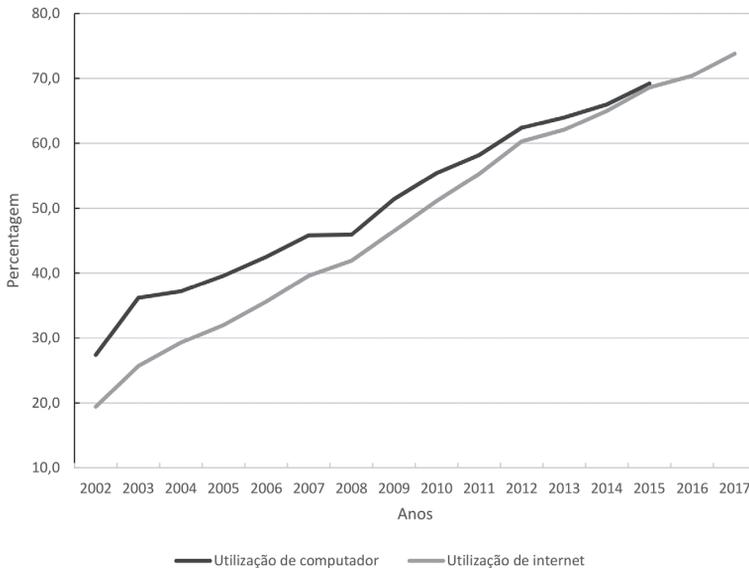
Como se pode verificar, ainda que as médias gerais da utilização de computador e de Internet não sejam muito elevadas (total em 2017: 75%; em 2002, apenas 19,4%), as médias aumentam significativamente quando se trata de pessoas empregadas (cerca de 90% em 2017).

Se considerarmos os empregados que utilizam computador, esse número é sempre mais elevado que o de utilização de Internet, embora em 2015 já fosse quase idêntico. Podemos considerar hoje em dia que essa tendência é expectável. Primeiro, porque no início do milénio, ainda que a utilização de computador fosse baixa, o acesso à Internet era ainda mais baixo (cerca de 21% para os empregados e 17,6% para os desempregados). Nos últimos anos esse número aumentou consideravelmente. Todavia, nos primeiros anos deste período, nem toda a utilização de computador implicava o recurso à Internet. Isso só muito recentemente começou a acontecer, o que pode significar também que o recurso à Internet nos locais de trabalho é cada vez mais importante.

Com a crescente utilização de sistemas ciberfísicos e da Internet das coisas em ambiente de trabalho, certamente esse recurso ainda será maior. No entanto, estes dados apenas nos informam acerca de um recurso cada vez mais intensivo entre a população ativa, e isso pode significar em simultâneo que a literacia digital tende a aumentar entre esta população. Podemos estar ainda preocupados com o facto de que ainda agora apenas cerca de 70% da população ativa acede a Internet, incluindo desempregados. O acesso geral apenas será conseguido já depois de 2020 se a tendência se mantiver. Os valores globais podem ser obtidos no gráfico seguinte.

**Gráfico 14**

**Indivíduos com 16 e mais anos que utilizam computador e Internet em % do total de indivíduos**

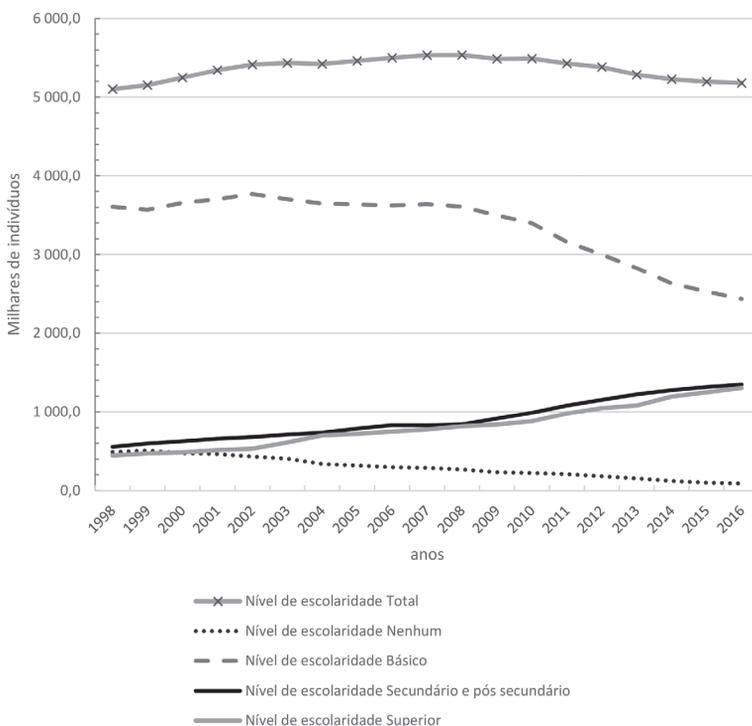


Fontes de Dados: INE – Módulo do Inquérito ao Emprego (em 2001 e 2002) | Inquérito à Utilização de Tecnologias da Informação e da Comunicação nas Famílias (a partir de 2003)  
Fonte: PORDATA (última atualização: 2017-11-21)

Esta informação acerca da permeabilidade da utilização de computadores e da Internet entre os indivíduos que integram o mercado de trabalho enquanto empregados é interessante. Se o seu crescimento tem sido assinalável (de cerca apenas 20% em 2002, para pouco mais de 80% em 2016), ainda parece ser surpreendente que esse valor não atinja toda a população empregada. Mas podem existir outras razões para tal: a) uma faixa importante das empresas ainda não recorre ao trabalho com tarefas digitalizadas, nem à telecomunicação, b) muitas tarefas são intensivas e apenas de carácter manual, c) uma grande parte

dos equipamentos utilizados em tarefas de trabalho são convencionais. Poderíamos ainda colocar outra razão que passamos a discutir: os níveis de escolaridade não são ainda elevados, o que pode representar um obstáculo à utilização regular de computadores e da Internet no local de trabalho. Vejamos então os dados.

**Gráfico 15**  
**População ativa: total e por nível de escolaridade completo**



Fontes de Dados: INE - Inquérito ao Emprego  
Fonte: PORDATA (última actualização: 2017-02-09)

Ainda que a literacia digital tenha vindo a aumentar rapidamente desde o novo milénio, os que têm escolaridade mais elevada ainda não ultrapassaram em número os que apenas têm a educação básica. No gráfico acima nota-se uma diminuição acentuada dos que não tinha completado qualquer grau de educação. Eram, na sua maioria, trabalhadores mais idosos e que saíram nos últimos anos deste grupo populacional. De igual modo, com aumento da escolaridade obrigatória, a geração mais nova que entra no mercado de trabalho já tem níveis de escolaridade mais altos, quer em termos de escolaridade secundária, pós-secundária, quer superior.

Os dois momentos de grandes alterações tiveram lugar entre 2002 e 2008. Antes deste período, a população ativa estava a aumentar rapidamente. Esse crescimento atenuou-se no período aqui referido, e desde 2008 tem vindo a diminuir rapidamente. Duas razões para isso: a emigração de jovens qualificados e a disponibilização normativa de antecipação de reformas, ou mesmo o fecho de grandes empresas com sequentes processos de desemprego e saídas do mercado de trabalho (sobretudo para os trabalhadores mais idosos). E, de facto, vemos a partir de 2008 uma brusca diminuição de trabalhadores com nível básico de escolaridade a sair deste grupo populacional. Alguns poderão ter optado por continuar a estudar ou por obter reconhecimento de competências, mas provavelmente não tantos quanto a saída do mercado de trabalho. A entrada de jovens escolarizados foi também acentuada, mas não cobriu as saídas. Assim, a população ativa que tinha atingido quase 5,5 milhões de trabalhadores em 2007, voltou a retomar os níveis de 1998 (cerca de 5,2 milhões).

Mas para além da informação acerca da potencialidade na utilização da Internet e de computadores em ambientes de trabalho, é particularmente importante saber em que tipo de tarefas eles são usados. Mas essa informação não está disponível em dados estatísticos. Apenas poderia ser conhecida a partir de estudos de casos. Assim, a real utilização da Internet no trabalho não é conhecida.

Além disso, e apesar de se conhecerem com algum detalhe as estatísticas relativas às aplicações robóticas nas indústrias dos diversos países europeus, os dados relativos a Portugal são ainda desconhecidos. A Sociedade Portuguesa de Robótica não possui esses dados, e as associações empresariais também não os têm recolhido. Podemos, deste modo, conhecer o contexto que permite a utilização de robôs, mas os modos da sua operação não são conhecidos. Seriam necessários também outros estudos de caso sobre o tema. Por conseguinte, sabemos que os trabalhadores empregados têm hoje um nível de escolaridade mais elevado, e que a quase totalidade dos computadores no trabalho têm ligação à Internet, embora nem todos os trabalhadores a utilizem. Estes seriam critérios importantes para saber utilizar sistemas automatizados na indústria. Em particular, a operação de robôs é geralmente executada por trabalhadores com o nível secundário de escolaridade. Grande parte tem também cursos técnicos de especialização (mecatrónica, programação) fornecidos pelos centros protocolares de formação profissional<sup>69</sup>, ou pelas empresas que fabricam ou instalam o equipamento<sup>70</sup>.

## **6.5. Tendências de desenvolvimento da robótica em Portugal**

A robótica em Portugal tem sido desenvolvida a par da dos outros países. No entanto, como é referido no *roadmap* nacional

---

<sup>69</sup> Centro de Formação Profissional da Indústria Metalúrgica e Metalomecânica (CENFIM) e Centro de Formação Profissional da Indústria Electrónica, Energia, Telecomunicações e Tecnologias da Informação (CINEL).

<sup>70</sup> Estas informações foram obtidas em diversas entrevistas por mim realizadas quer a operadores de robôs, quer a técnicos de formação em centros de formação, ou a empresários das empresas onde os sistemas foram instalados.

realizado pela Sociedade Portuguesa de Robótica em 2011<sup>71</sup>, a “atividade em robótica em Portugal é frequentemente conduzida por requisitos muito particulares e específicos, carecendo por vezes de uma estratégia integrada para este setor, a nível nacional” (SPR, 2011: 1). Com efeito, a não existência de uma estratégia nacional tem conduzido a uma liderança de orientação de investigação e desenvolvimento apenas residente na academia. Dito de outro modo, apenas as universidades, os centros de investigação ou os institutos sem fins lucrativos têm determinado as orientações de investigação em robótica no nosso país. Pouco envolvimento tem sido realizado pelas empresas, nem elas têm refletido acerca das suas necessidades ou das suas experiências.

Podemos identificar, no entanto, alguns problemas caracterizadores desse desenvolvimento, por exemplo:

- a) A componente industrial do desenvolvimento da robótica é relativamente tardia. Apenas uma empresa com alguma expressão na produção de robôs teve realce no início da década de 90. Tratou-se da Tecnirob, que foi a única a ter a fabricação de robôs para a indústria como atividade central. Nessa década algumas empresas de desenvolvimento e aplicação de sistemas também foram fundadas mas duraram pouco tempo. Essas funções foram ocupadas pelas grandes empresas internacionais que passaram a ter delegações comerciais em Portugal com alguma capacidade de engenharia.
- b) A articulação entre empresas de serviços de desenvolvimento de sistemas robóticos e os meios de investigação, e destas com as empresas onde esses sistemas iriam ser instalados, foi sempre muito simples, sem estratégias de transferência de tecnologia. Nos últimos anos podemos mencionar a Introsys

---

<sup>71</sup> SPR: *Robótica no Mapa: Contributos para um Livro Branco da Robótica em Portugal*, Lisboa, SPR, Dezembro de 2011

como um bom exemplo de articulação entre a engenharia de sistemas e a investigação académica, e a AutoEuropa como uma articulação entre indústria, serviços de sistemas robóticos e academia.

- c) O desenvolvimento da robótica portuguesa não chegou a ter o interesse da estratégia política no nosso país. Os apoios foram geralmente avulsos e muito limitados. Não chegou a criar uma massa crítica de conhecimento e de capacidade

As atividades do Instituto de Sistemas e Robótica do IST-UL têm sido as que mais sistematicamente têm ganho relevância no domínio da investigação, embora outras universidades e centros de investigação também tenham experiência muito assinalável nesta área, como a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, a Universidade de Aveiro, a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e o INESC Tec. Aliás, a Sociedade Portuguesa de Robótica inclui a maior parte dos seus membros vindos destas instituições.

Como foi dito nesse *roadmap*, “uma estratégia que deverá incluir um investimento relevante para a valorização do conhecimento e dos recursos humanos na área de robótica com programas de I&D especializados. Essa visão estratégica deve ser abrangente, explorar as sinergias, os recursos humanos e o conhecimento existentes, valorizando a cooperação entre grupos investigação que desenvolvem aplicações de tecnologias robótica e as empresas. Estas empresas não estão confinadas às de atividades no domínio industrial, mas deverão incluir empresas com outras atividades nas quais se incluem a domótica ou o ambiente. A quantidade, qualidade e diversidade do conhecimento acumulado pelas atividades realizadas no desenvolvimento de sistemas robotizados em Portugal, para além da mais tradicional área da automação, são verdadeiramente notáveis e poderão ser catalisadoras de inovação e geradoras de atividade económica rentável” (SPR, 2011:

1-2). Todavia, em quase uma década, e apesar de crescente utilização de robôs, essa estratégia nacional está por definir.

Sem essa estratégia definida quais são as tendências de desenvolvimento da robótica em Portugal? Com base na informação disponível as aplicações de robótica têm sido realizadas sobretudo na indústria automóvel. Isso permitiu ganhar muito conhecimento em termos de instalação dos modelos existentes e de adaptação às necessidades das empresas. Neste processo muitas das principais universidades portuguesas com investigação na área da engenharia conseguiram acompanhar essas iniciativas de instalação robotizada, mas sem condições claras de transferência de tecnologia. Não se pode dizer que existe ou existiu um divórcio dos interesses do meio académico e o do meio empresarial. Mas não existem muitos exemplos de colaboração. Onde ela existe é quase exclusivamente ao nível de *spin-offs* das universidades que criaram pequenas empresas de serviços nos seus parques de ciência e tecnologia. Muitas dessas empresas conseguiram alguma autonomia e sucesso, e continuam a prestar serviço às grandes empresas utilizadoras.

Em paralelo com a instalação de empresas representantes das construtoras de robôs (KUKA, ABB, Kawasaki, Fanuc, Yaskawa Motoman) foram criadas competências de engenharia de sistemas robotizados em Portugal ou articulações com empresas que desenvolvem componentes para esses sistemas, ou que prestam serviços qualificados. A maior parte das empresas utilizadoras desenvolveram também competências de articulação com o desenvolvimento de sistemas e com a manutenção. Mas nesta relação poucas vezes estão as universidades. Não se verificam colaborações.

Perante esta situação é provável que se venha a manter alguma dependência das empresas utilizadoras (ou potencialmente utilizadoras) de robôs das empresas de serviços ou de desenvolvimento de sistemas. Através da externalização de funções é muito provável que a manutenção seja também feita por

empresas especializadas. Em paralelo, as universidades desenvolvem capacidades e conhecimento através da colaboração com consórcios internacionais de investigação, sobretudo através de projetos europeus. Prossegue a formação superior nas universidades e institutos politécnicos, e a formação técnica em centros protocolares de formação. Esses especialistas são quase na sua totalidade absorvidos pelo mercado de trabalho. Quer para as empresas utilizadores, quer para as fornecedoras de serviços.

Faltam ainda competências em áreas interdisciplinares ou em instituições intermédias. As entidades financeiras não estão ainda a fornecer serviços para esta área específica introduzindo novos produtos que possam ser interessantes para as PME, nomeadamente o *leasing* de equipamento robótico. Não existem ainda empresas de aluguer deste equipamento. A Agência para as Condições de Trabalho não tem desenvolvido estudos ou controlo acerca das condições de trabalho com este tipo de equipamento. As associações empresariais ou sindicais ainda não se têm sentado à mesma mesa para discutirem problemas comuns associados à robótica. Ou não existem estudos desenvolvidos pelo Instituto do Emprego e Formação Profissional sobre as necessidades de formação ou as mudanças de emprego derivadas da aplicação desta tecnologia. Se em outros países, instituições similares estão muito ativas e estimulam outros organismos para o debate e a procura de soluções de problemas, ou para a antecipação de eventuais problemas, em Portugal existe grande passividade, ou as iniciativas são deixadas apenas para as instituições governamentais. Estas, por sua vez, não têm recursos ou interesse no tema. A única exceção é a Fundação para a Ciência e Tecnologia, que recentemente lançou o debate público em torno da construção de uma agenda nacional para o “Trabalho, a Robotização e as Dinâmicas de Emprego”, que em 2018 trará as suas primeiras conclusões, a par com outras agendas temáticas.

Por conseguinte, existem passos muito importantes a serem dados nestas áreas e que deverão envolver várias parcerias

sociais e também os meios académicos. Também aqui apenas agora começa a entender-se que, para se abordar esta temática e propor soluções alternativas, é necessário considerar-se as diferentes disciplinas científicas, e não apenas a engenharia. Apenas agora, como no caso referido da agenda nacional, se integram especialistas de ciências sociais em conjunto com os de engenharia para prepararem documentos conjuntos. E esses documentos deverão ser debatidos também com o meio empresarial. É um esforço inovador e vai trazer frutos para uma definição de estratégias de desenvolvimento da robótica em Portugal.

É provável, então, que dentro de uma década possamos vir a ter equipas mais interdisciplinares que, do ponto de vista científico, abordem as diferentes questões e problemas na área da robótica e emprego. Pode vir a ser mais importante a articulação dessas equipas com as empresas para o desenvolvimento de novas experiências. Serão ainda possíveis novas capacidades de avaliação dessas experiências e o lançamento de políticas estratégicas para o desenvolvimento equilibrado e responsável da robótica com o envolvimento e a participação de um conjunto alargado de especialistas e de interesses económicos e sociais.

Apenas nestas circunstâncias a capacidade de desenvolvimento da robótica em Portugal poderá encontrar paralelos noutros países com maior experiência e, assim, reunir recursos para uma cooperação efetiva a nível internacional. Permanecer nos campos da hiperespecialização e da separação entre os meios académicos e os empresariais levará a um enfraquecimento e isolamento do conhecimento desta tecnologia e das suas implicações.



## 7. Algumas conclusões: limites e perspectivas de novos desenvolvimentos

Neste último capítulo tentaremos indicar algumas conclusões acerca da relação entre robótica e trabalho considerando o debate acerca das perspectivas de novos desenvolvimentos, de novas oportunidades de campos de aplicações, e também das perspectivas acerca dos limites que são impostos pela sociedade ou pelo próprio desenvolvimento técnico. Começamos justamente por verificar os limites atualmente existentes na investigação em robótica. Esses limites podem ser vistos como um problema que será necessário resolver, e, por isso, podem representar simultaneamente desafios a ser ultrapassados. Outro aspeto importante diz respeito às potencialidades de desenvolvimento da robótica, sobretudo no que diz respeito às suas aplicações na área do trabalho.

Tentaremos então compreender melhor quais são as possibilidades da aplicação deste tipo de tecnologia em Portugal. Já verificámos as características do desenvolvimento do mercado de trabalho recente em Portugal, das transformações que têm ocorrido em termos de investimento e de evolução da criação de riqueza e de produtividade, e tentámos conhecer o real impacto da introdução de robôs em Portugal, quer nas áreas de investigação, quer nas áreas de produção e serviços. Assim, será então necessário refletir acerca do futuro desta relação em Portugal. Por fim tentaremos responder a uma pergunta que preocupa cada vez mais os portugueses: será que os robôs vão substituir a atividade laboral humana? Criará mais desemprego? Ou terá efeitos benéficos podendo ser aplicada em domínios onde é difí-

cil encontrar pessoas disponíveis devido à perigosidade das tarefas ou devido ao conteúdo muito pobre do trabalho? Pode ser útil na execução das tarefas que já não queremos executar? São perguntas para as quais indicamos algumas conclusões de vários trabalhos de investigação, e alguma reflexão decorrente de experiências no contacto com empresas e com especialistas nacionais e estrangeiros. Serão sobretudo hipóteses para novos debates.

### **7.1. Limites da investigação em robótica e os seus novos desafios**

A investigação em robótica tem diversas áreas onde ainda não existem recursos suficientes em termos de conhecimento para se procederem a alterações de fundo. Sabemos hoje que existem muitos campos onde a robótica pode ser desenvolvida e aplicada, quando há duas ou três décadas as experiências eram demasiado rudimentares. A área da saúde era um deles. No entanto, hoje em dia, a difusão de robôs em domínios de cuidados médicos, de cirurgia, ou mesmo na reabilitação, alterou completamente esse panorama. Com os desenvolvimentos da fabricação aditiva aplicada a domínios de biotecnologia (impressão 3D de tecidos orgânicos, por exemplo), a sua associação às restantes aplicações em medicina permite perceber que novos desafios se podem colocar.

Em geral, a biónica oferece campos novos. É um dos domínios técnicos onde os desenvolvimentos da comunicação cérebro-computador, dos sensores de elevada precisão, dos sistemas micromecânicos ganharam muita evidência. Neste domínio podemos encontrar extensões de órgãos humanos (braços, mãos, pernas) que podem ajudar a melhorar a vida quotidiana daqueles que passaram a ter a sua falta por acidente ou deficiência. A investigação no domínio da microrrobótica encontrou aqui um campo de aplicação e de desenvolvimento experimental muito importante. Todavia, devido aos necessários

elevados recursos financeiros para esses desenvolvimentos que não podem ser normalizados e produzidos em massa, torna-se muito difícil a sua aplicação generalizada. Ela é possível, mas existe claramente aqui uma tendência de desigualdade de acessos a aplicações deste tipo. Ela pode depender da capacidade de articulação entre as instituições de saúde, as companhias de seguros e as instituições de investigação.

A robótica social começou a desenvolver aplicações que se destinam a áreas experimentais de cuidados médicos (robôs de companhia), mas que podem também vir a ser aplicados na indústria. Escrevi sobre isso numa publicação focada no conceito de robótica social. Basicamente pretendi sublinhar a importância do conceito de robótica colaborativa que integra muitas componentes dessas experiências (Moniz, 2015).

Nos recentes debates sobre esta temática, tornou-se importante compreender as definições das capacidades dos robôs sociais quando podem (ou não) ser aplicadas aos robôs “companheiros”. Mas a discussão sobre robôs com capacidades de interação em ambientes de trabalho não foi incluída sob o tópico de “robótica social”, em vez disso, essa definição foi quase exclusivamente feita para aplicações no domínio do lazer ou dos cuidados médicos. Existe, todavia, um campo de aplicação muito significativo que pode permitir o desenvolvimento de robôs colaborativos em ambientes de trabalho e com algumas características antropomórficas. Se lhes juntarmos capacitações derivadas da biónica poderemos vir a encontrar humanoides em ambientes de trabalho. Essa realidade está ainda distante por limitações técnicas, mas também vão existir muitas limitações de carácter ético e relacionados com aspetos relativos à responsabilidade de orientações de investigação. A aceitabilidade destes processos pode também vir a ser uma limitação importante.

O domínio dos sistemas robóticos autónomos é outro tema que revela alguns desses limites importantes. Podemos dizer que a investigação se tem desenvolvido claramente aí, mas existem

princípios e problemas de caráter ético, legal e social que não se encontram resolvidos. Podemos falar de aplicações para fins militares, mas também aplicações na área de transportes. Em qualquer um deles existem enormes dificuldades do ponto de vista do desenvolvimento da tecnologia, como seja, a integração de diferentes sensores (visão, velocidade, posicionamento), e até mesmo a própria autonomia energética.

Como vimos ao longo deste livro, na área das aplicações industriais existem limites que dizem respeito sobretudo à interação indivíduo-robô. Já vimos nos capítulos anteriores as diferentes questões associadas a esta interação. São sobretudo questões associadas ao trabalho, e também associadas à percepção do ambiente de trabalho. A carga mental e a complexidade da informação a ser tratada pelos humanos pode representar um limite à difusão ou desenvolvimento destes sistemas. Efeitos na segurança parecem ser os que mais se destacam. Os desafios colocam-se na esfera das alternativas em termos de organização do trabalho e nos processos de tomada de decisão.

A maior parte das perguntas que ainda hoje se colocam são do seguinte tipo:

- Que danos fazem as máquinas autónomas ou semiautónomas hoje? Que exemplos existem? São devidos sobretudo a drones, a máquinas cirúrgicas, a robôs utilizados em fábricas?
- As diretrizes legais para máquinas ainda são viáveis? Ou o desenvolvimento da inteligência artificial já as tornou obsoletas?
- Se não são mais atuais, onde são exatamente as lacunas?
- Quando será que as primeiras máquinas autónomas se moverão livremente nas fábricas? E em outros locais, e quais?
- Quais são os riscos?
- Quem é responsável por minimizar esses riscos?
- Quem deve ser responsável se as máquinas inteligentes causarem danos ou ferirem pessoas? Os operadores? Os fabricantes? O programador?

- Haverá um ponto em que as pessoas não poderão mais ser responsabilizadas pelo que as máquinas fazem?
- As máquinas podem ser responsáveis por danos causados?
- Devem ter uma personalidade eletrônica, com direitos e deveres?
- Pode-se mudar o princípio da responsabilidade? Por exemplo, estando os operadores longe das máquinas, para cada aplicação são necessários os mesmos seguros que para os robôs de fábrica? E para aquelas máquinas ou robôs que se movem livremente nas salas ou oficinas?
- O que pode revelar o movimento do Parlamento Europeu com a decisão?

Sobre estas questões já fomos respondendo nas páginas anteriores. Mas elas revelam uma preocupação sobre temas onde ainda existe grande insegurança em termos de conhecimento científico. Com este tipo de perguntas podemos compreender que receios de uma grande autonomia das máquinas em relação ao controlo humano são geralmente recorrentes. Os medos que máquinas que estão geralmente sob o nosso controlo possam ter comportamentos autónomos são medos presentes. Mas estão presentes não apenas em relação às aplicações do nosso quotidiano, como os “robôs” de corte de relva ou de aspiração, mas também em relação a máquinas industriais. Os robôs são hoje aplicados em cirurgias, em cuidados de saúde, no setor alimentar, na monitorização de instalações, no meio artístico, em atividades de lazer. Mas são sobretudo aplicados em atividades de produção e logística. É aqui que os impactos em relação ao trabalho se farão sentir de modo a envolver cada vez mais postos de trabalho. Mas, em todos eles, os temas da responsabilidade, das questões éticas e legais, dos riscos tecnológicos serão cada vez mais presentes.

Relativamente a estas dúvidas e perguntas, podemos também ver algum faseamento nessas preocupações, como por exemplo:

- I. As principais preocupações relacionadas com o aumento da automatização e introdução de sistemas com TIC na esfera do trabalho, e, mais tarde, de robôs diziam respeito à potencial substituição direta de postos de trabalho. A criação de desemprego pelo efeito de intensificação da tecnologia foi durante muito tempo um tema central no debate público e científico. Não foi um tema novo;
- II. Mais tarde, como não se encontravam relações estatísticas claras entre os processos de introdução de sistemas automatizados e de desemprego direto, procuraram-se outros efeitos potenciais. Vários estudos de caso falaram do efeito de desqualificação com o aumento da automação. A abordagem foi sobretudo determinista e causal. No entanto, a disseminação desta tecnologia avançou em todos os países industrializados independentemente dos receios que se iam criando;
- III. Como estes estudos verificaram uma grande variabilidade de situações desenvolveram-se hipóteses alternativas. De acordo com estes estudos concluía-se que a variável “organização do trabalho” poderia ser a causa explicativa das diferentes situações encontradas. Estudos acerca da comparação entre os modelos organizacionais desenvolvidos no Japão e nos outros países ocidentais demonstravam a importância dessa variável. O mesmo sucedeu com os trabalhos de Kern e Schumann na Alemanha no final do século passado. Começaram a conhecer-se diversas alternativas aos modelos dominantes de organização do trabalho. E nessas alternativas mais participativas e orgânicas, também se utilizavam robôs, e se conseguiam resultados surpreendentes relativamente à capacidade em envolver mais os operadores humanos nos processos de tomada de decisão;
- IV. Hoje em dia ressurgue uma preocupação relacionada com a importância crescente da inteligência artificial e a sua aplicação aos sistemas produtivos. Colocam-se aí as perguntas

relativas à potencial autonomia da tecnologia em relação ao humano. Poucos estudos, no entanto, têm sido realizados de modo empírico sobre esta tendência. Não existem também muitas situações que permitam uma observação extensa. Estamos ainda, e durante alguns anos mais, ao nível da especulação e do refinamento de hipóteses científicas.

Podemos ver, portanto, uma evolução dos temas centrais associados à automação e à robótica, a saber: emprego, qualificação, organização e autonomia. Creio que são, efetivamente, os conceitos que devem estar presentes sempre neste debate sobre os efeitos e impactos sociais do desenvolvimento da automação. Mas percebemos simultaneamente que algumas questões são recorrentes. Muitos receios permanecem e outros, novos, são induzidos pela crescente capacidade da inteligência (no sentido dado por Brynjolfsson e McAfee) integrada nas máquinas. A investigação atual em robótica parece demonstrar que muitos limites evidentes há alguns anos estão a ser ultrapassados rapidamente. Alguns especialistas referiam recentemente que a robótica está ainda na sua “infância” e isso deixa-nos dúvidas acerca das previsíveis “crises de crescimento”.

## **7.2. Potencialidades de desenvolvimento da robótica**

Com estes temas de investigação na fronteira do conhecimento é possível compreender que existem potencialidades de desenvolvimento da robótica que ainda não se encontram bem definidas. É muito provável que os novos materiais possam vir a desempenhar um importante papel. Quer no domínio de aplicações médicas com sistemas biocompatíveis no domínio da biónica, quer no domínio das aplicações industriais que irão desempenhar um importante papel na melhoria da segurança no trabalho.

Para além dos novos materiais, a eletrónica transparente irá certamente conhecer aplicações robóticas significativas em diversos campos, sobretudo na microeletrónica.

O desenvolvimento da computação quântica pode permitir desenvolvimentos da organização de robôs em enxames (“*swarm robotics*”) para aplicações nos domínios de monitorização, ou da busca e salvamento em caso de catástrofes. De qualquer modo, poderão vir a existir muito mais aplicações possíveis que ainda hoje podem não ser claras.

As áreas de pesquisa e desenvolvimento de robótica avançada que prometem ter um forte impacto socioeconómico em breve incluem:

1. novos robôs qualificados no local de trabalho que levam à mudança da distribuição de tarefas humano-robô e a novos problemas de integração de robôs no local de trabalho;
2. mudança nos ambientes urbanos habitados por equipas de robôs interativos (carros sem condutores, assistentes robotizados para centros comerciais, robôs de vigilância ou de orientação em museus, etc.);
3. aplicações de uso duplo (militares e de segurança) da robótica, considerando o seu carácter antecipatório de potencial transferência para aplicações da sociedade civil;
4. robótica de cuidados de saúde;
5. micro e nanorrobôs aplicados tanto no setor da saúde quanto no da fabricação industrial;
6. robôs de limpeza, inspeção ou manutenção.

Podemos passar a descrever de modo resumido esses desenvolvimentos tecnológicos de modo a elucidar o tipo de impacto esperado.

Relativamente ao caso mencionado em (1) podemos considerar aqueles robôs que executam tarefas com alguma complexidade em associação com outras máquinas ou outros robôs. Nestes casos,

deverá ser cuidadosamente definida a área de intervenção humana, quer em termos de controlo, quer em termos de interação. Em todos os casos, a definição das tarefas atribuíveis a um robô deve sempre envolver os operadores humanos que antes executavam essas tarefas, ou que executam as tarefas dependentes das que são agora robotizáveis. Deve ser também considerada a necessidade de integrar um robô num ambiente que anteriormente requereria humanos. Essa integração irá perturbar (para melhor ou pior) uma relação anterior de trabalho de humanos com máquinas e entre humanos. A integração não deve excluir os humanos.

No caso mencionado em (2), acerca da mudança nos ambientes urbanos habitados por equipas de robôs interativos, podem existir novos ambientes que têm claras implicações nas configurações de várias profissões. A existência de carros sem condutores vai ter implicações em profissões associadas a motoristas e a empresas de transporte. Em particular, poderão ser os serviços de transporte de táxi ou de transporte de mercadorias os que podem vir a ser mais afetados. Contudo, veículos sem condutor irão ser utilizados numa primeira fase em ambientes estruturados e controlados. Isso significa uma maior proximidade com os sistemas de transporte público. Os assistentes robotizados para centros comerciais já começaram a ser experimentados, inclusive em Portugal. O seu objetivo é, numa primeira fase, auxiliar sobretudo os clientes com necessidades especiais, podendo ser alargada a aplicação a todos os utilizadores de centros comerciais. No caso dos robôs de vigilância, eles poderão implicar a substituição de profissões de vigilância ou, pelo menos, limitar a sua expansão. Serão mais utilizados em grandes instalações em períodos de menor atividade (turnos noturnos, fins de semana) e serão porventura muito semelhantes aos de função de monitorização. A diferença poderá residir na sua função: os robôs de vigilância tenderão a substituir postos de trabalho humanos, e os robôs de monitorização serão sobretudo equipamentos auxiliares de postos de trabalho. Os robôs de orientação em museus

poderão estar muito próximo da funcionalidade dos robôs de companhia, ou seja, deverão integrar funções de interação com humanos, neste caso, visitantes devendo adquirir a capacidade de reconhecimento do tipo de humano (criança, idoso, turista de determinado país) e assim adaptar-se a uma melhor utilização com recurso a bases de dados informativas adequadas à pessoa (ou grupo de pessoas) com vai interagir.

As aplicações de uso duplo (militares e de segurança) da robótica poderão considerar o seu caráter antecipatório de potencial transferência para aplicações da sociedade civil (tema 3). Por outras palavras, algumas aplicações de robótica militar poderão vir a ser desenvolvidas em âmbito civil. Os exoesqueletos serão os casos mais evidentes, mas podem referir-se os drones para fins de monitorização. Em Portugal desenvolveram-se também aplicações militares com evidente interesse civil, como são os veículos autónomos de desminagem<sup>72</sup>. Todos estes sistemas contêm sensores de elevada sofisticação e alcance, deverão ser robustos e com grande autonomia.

Quanto à robótica de cuidados de saúde (tema 4), tem sido uma área de crescente interesse do desenvolvimento tecnológico. Requerem significativas capacidade de interação humana e de autonomia de funcionamento. Devem ser robôs com capacidade de reconhecimento de ambientes pouco estruturados e com capacidades avançadas de mobilidade. É claro que estas capacidades dependem das suas funcionalidades, pois estamos a referir características relativas às potencialidades de desenvolvimento tecnológico. Algumas aplicações de robôs de companhia são relativamente simples, mas são eficientes para a sua função, como são os casos de idosos com doença de Alzheimer, ou de crianças autistas. Mas as que representam maiores desafios tecnológicos são os que podem fornecer maior apoio às atividades de cuidados de saúde com capacidade de interação com

---

<sup>72</sup> Robôs desenvolvidos pela empresa Introsys.

os pacientes. Existem ainda muitas dúvidas acerca do potencial impacto no mercado de trabalho. Estas aplicações deverão substituir alguns postos de trabalho, mas a relação inter-humana nos cuidados de saúde é ainda considerada, do ponto de vista social e psicológico, como fundamental para o sucesso desses cuidados. Do ponto de vista da investigação responsável e do ponto de vista ético, o desenvolvimento potencial deste tipo de aplicação deverá situar-se no campo da complementaridade funcional com os profissionais de cuidados de saúde.

A investigação em (5) micro e nanorrobôs aplicados tanto no setor da saúde quanto no da fabricação industrial, é uma das áreas mais promissoras e de complexo desenvolvimento. As dimensões micro e nano requerem equipamentos de muito elevado investimento, quer a nível laboratorial para experiências e protótipos, quer a nível de equipamentos de fabricação para a sua produção. Em ambos os casos, a relação de trabalho será substancialmente diferente da utilizada com robôs convencionais. Ou seja, a interação do operador com os objetos de ação do robô em ambiente de trabalho deixa de ser direta. Essa interação passa a ser mediada por equipamentos que apenas permitem a simulação da operação, e onde a função de visionamento é completamente diferente da normal com robôs convencionais.

Finalmente, referimos os robôs de limpeza, inspeção ou manutenção (6). Existem atualmente poucas aplicações, exceto o caso dos aspiradores autónomos que, em termos rigorosos, não deveriam ser definidos como robôs. Os sistemas aqui mencionados serão os que implicam alguma complexidade de operação e de programação. Serão os robôs que operam em grandes superfícies e, por conseguinte, deverão ter grande autonomia e capacidade de reconhecimento do ambiente envolvente reagindo em conformidade. Não serão equipamentos dedicados ou filoguiados. Os sistemas mais complexos poderão inclusivamente ter diferentes modos de locomoção ou de mobilidade, podendo assim operar em ambientes distintos, como o terrestre, o aéreo e o aquático.

### **7.3. Irão os robôs substituir os humanos nos postos de trabalho?**

No estudo *2015-16 State of the Future* para o Millennium Project, Jerome C. Glenn e Elizabeth Florescu estabeleciam alguns factos e perguntas importantes sobre o futuro do trabalho para o limite temporal de 2050:

- O Pew Research Center descobriu que os “especialistas” sobre as questões relacionadas com evolução dos mercados de trabalho estão quase uniformemente divididos sobre se a tecnologia futura substituirá mais empregos do que criou até 2025.
- O Banco Mundial mostrou que a taxa e o nível de pobreza estão a cair em todo o mundo. No entanto, as diferenças de rendimento estão a crescer: a Oxfam descobriu que o 1% mais rico da população possui cerca de 46% da riqueza global, enquanto os 50% inferiores da população quase não possuem cerca de 0,7% da riqueza mundial, aproximadamente o mesmo que o mundo 85 pessoas mais ricas.
- Uma vez que a taxa de retorno para investimentos em instrumentos de alta tecnologia e financeiros é muito maior do que o investimento em mão de obra, as diferenças de rendimento provavelmente aumentarão, tornando o mundo cada vez mais instável.
- De acordo com o Banco Mundial, um milhar de milhão de pessoas entrará no mercado de trabalho nos próximos 10 anos, enquanto uma projeção espera que dois mil milhões de postos de trabalho se percam até 2030.
- Quantos investigadores, agentes de serviços, advogados e outros profissionais o IBM Watson irá substituir até 2020, 2030 e 2050? Que novas capacidades serão criadas pela investigação sobre o cérebro nos EUA, na UE e na China até 2050? Quantos motoristas de táxis, autocarros e camiões serão substituídos pelos veículos sem condutor? Quantos

funcionários de *call center* serão substituídos pelos sistemas interativos de IA de voz? Qual poderia ser o impacto da impressão 3D e 4D no comércio internacional, inicialmente para coisas simples, como brinquedos de plástico, mas depois para coisas mais complexas? Alguns empregos provavelmente serão substituídos mesmo antes de serem criados, como os futuros robôs com IA no Japão, para os antigos trabalhadores de cuidados de saúde.

Estas são algumas das perguntas típicas que a maior parte dos estudos faz. São questões que também poderiam ser transpostas para a realidade concreta de outros países, nomeadamente de Portugal. Mas para isso necessitaríamos de conhecer muitos dados que não se encontram disponíveis e nunca foram obtidos. Por exemplo, se podemos saber qual o nível de desigualdade social no nosso país, e com isso projetar a capacidade de investimento endógeno que permita criação de riqueza e a sua distribuição de forma equilibrada; não sabemos a taxa de retorno de investimento em tecnologias avançadas. Se existe capacidade de investimento em mão de obra, qual o seu efeito em termos de aumento de produtividade? Mas se essa capacidade não existe, então também não serão de esperar grandes acréscimo de produtividade, mesmo que exista apenas capacidade de investir em tecnologia. Ou não será assim? Será que basta investir em tecnologias de automatização para se obter maior produtividade? E porque é que isso não é feito?

Outros são mais cautelosos, como no caso do estudo mencionado do Instituto McKinsey.

Em 1990, já referíamos que, “nos diversos casos estudados, cerca de  $\frac{1}{3}$  dos trabalhadores passaram a desempenhar um trabalho diferente daquele que realizavam até à introdução dos robôs. Quase todos os restantes trabalhadores continuaram a executar o mesmo tipo de trabalho. Normalmente os operários qualificados passam a exercer funções de preparação de traba-

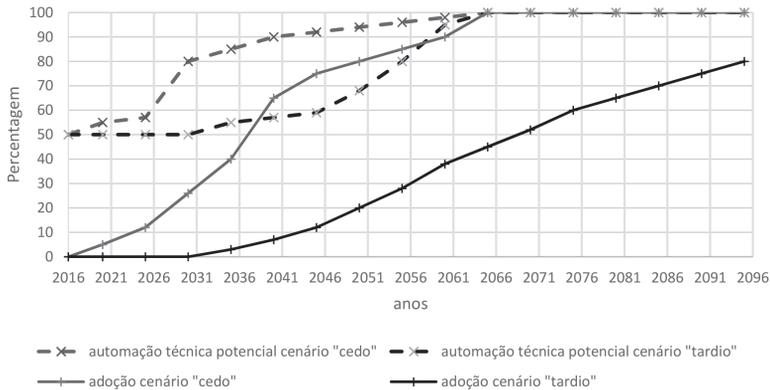
lho, de vigilância do funcionamento do robô, da alimentação (tinta, gás, etc.) e da manutenção simples destas máquinas” (Moniz, 1990: 72). Em grande parte das instalações atuais esta situação é idêntica. Apenas poderemos verificar algumas funções mais qualificantes entre aqueles trabalhadores que foram deslocados dos seus postos de trabalho antes da robotização. Sobretudo no setor de fabricação de meios de transporte, alguns desses operadores passaram a desempenhar funções de controlo de qualidade ou mesmo de programação e preparação de trabalho. As razões invocadas para estas alterações de postos de trabalho apresentadas aquando de entrevistas por nós realizadas em anos recentes dizem respeito às seguintes dimensões:

- a) necessidade de melhoria dos níveis de qualidade do produto;
- b) necessidade de melhorar o ambiente físico de trabalho;
- c) integração em fluxos de produção com recurso a outras estações automatizadas de produção;
- d) integração de informação por desenvolvimento da automação;
- e) necessidade de mão de obra qualificada;
- f) surgimento de novas funções e tarefas que requerem pessoal especializado e qualificado;
- g) necessidade de recorrer ao mercado de trabalho interno para rápida resolução de problemas.

Estes são alguns dos princípios que obrigaram empresas a investir em novos equipamentos de produção, no aumento do processo de automação e numa gestão mais inteligente dos seus recursos humanos e de qualificação. Não podemos, no entanto, generalizar este procedimento a todas as empresas que introduziram estes equipamentos robotizados. Para assumir uma conclusão efetiva necessitaríamos de mais estudos de caso que possibilitem uma verificação empírica mais eficaz e mais extensiva.

Para muitos autores, a automatização será uma força global, mas a sua adoção levará décadas e existe uma significativa incerteza no tempo. No gráfico seguinte pode observar-se de uma forma simples que a automação potencial não significa que ela seja adotada. Existem algumas empresas que adotam rapidamente as ofertas potenciais disponíveis, mas a generalidade acaba por as adotar com pelo menos 10 anos de “atraso”. Não podemos falar em “atraso” de modos absolutos porque o potencial de desenvolvimento tecnológico é oferecido em certas condições ótimas de prototipagem. Geralmente, essas condições não integram problemas de carácter técnico, nem sobretudo os de carácter legal, social, político ou económico. E estes justamente determinam grandemente a capacidade de adoção dessas inovações potenciais.

**Gráfico 16**  
**Tempo despendido nas atuais atividades de trabalho<sup>73</sup>**



Fonte: análise do McKinsey Global Institute (2017: 13)

<sup>73</sup> Quarenta e seis países foram utilizados para este cálculo, representando cerca de 80% da força de trabalho global.

Para analisar uma série de cenários potenciais sobre o ritmo em que a automação afetará as atividades em toda a economia global, o instituto McKinsey construiu um modelo que simplifica os efeitos em quatro etapas temporais: a) desenvolvimento de capacidade, b) desenvolvimento de solução, c) viabilidade econômica e d) adoção final. A curva S no gráfico acima indica o intervalo de tempo potencial que emerge das análises de cenarização, com a linha escura representando um cenário de “adoção mais antiga” e a linha clara um cenário de “adoção mais recente”, agregando em todas as atividades que representam cerca de 80% da força de trabalho mundial. Por exemplo, é estimado que a adaptação atual da tecnologia demonstrada tem potencial técnico para automatizar cerca de 50% das atividades de trabalho atuais do mundo. Enquanto a data em que isso poderia acontecer seria por volta de 2055, assumindo que todos os fatores estão em vigor para uma adoção bem-sucedida até então, modelaram possíveis cenários onde esse nível de adoção ocorre até quase 20 anos antes ou mais tarde (McKinsey Global Institute, 2017: 12).

Entre os primeiros setores suscetíveis de sentir o impacto da automação vão estar aqueles que envolvem tipos de atividades que se podem classificar como tendo o maior potencial de automação com base na tecnologia atualmente demonstrada. Do ponto de vista geográfico, as economias avançadas da Europa e da América do Norte também são suscetíveis de implementar a automação antes de muitas economias emergentes da Ásia e da América Latina, em grande parte devido ao aumento dos níveis de salários nas economias mais desenvolvidas. Esse facto significa que é nas economias mais avançadas onde se verifica uma tendência mais forte para essa implementação.

Mas, finalmente, podemos considerar que o efeito da robótica no trabalho é basicamente o mesmo que o da automação?

Certamente, não. A robótica é não apenas uma parte dos processos de automatização, mas também as suas implicações podem ser diferentes. Se, por um lado, os processos de automa-

ção podem, ou não, integrar a robótica, as necessidades de qualificação associadas à robótica são diferentes das da automação.

Além disso, claramente, as tendências de evolução da produtividade são importantes para compreendermos o possível papel que a tecnologia pode ter no processo. Não só essas tendências predizem o potencial das maiores quedas no emprego no futuro, mas também fornecem sugestões sobre possíveis contramedidas.

Na fabricação avançada, o *software* industrial está a ser usado com frequência crescente para melhorar a qualidade do produto, a consistência e o desempenho a custos mais baixos. Em nenhum lugar isso é mais importante do que na área de comunicação de dados, onde os computadores não controlam simplesmente a robótica, mas também integram vários aspetos dos processos de produção, mesmo aqueles que ocorrem em diferentes locais ao redor do globo.

#### **7.4. Perspetivas de novas aplicações em Portugal**

Como vimos no capítulo sobre os exemplos das várias aplicações possíveis de robôs, podemos compreender que existe uma enorme variedade de setores e possibilidades. Na realidade começamos a assistir a uma difusão deste tipo de maquinaria não apenas na indústria (onde ainda representa a maioria das aplicações), mas também em muitos outros setores produtivos, e ainda em várias situações da nossa vida quotidiana.

Tendo em consideração que a robótica vem sendo utilizada em todas as esferas da atividade produtiva, e hoje também nas esferas da atividade pessoal, é de esperar que muitas também possam ser aplicadas em Portugal. Conhecem-se atualmente, e desde as últimas décadas, cada vez mais aplicações na esfera da atividade produtiva industrial.

Mais recentemente começam a conhecer-se exemplos de utilizações no domínio da cirurgia robotizada. Conhecem-se

também casos de aplicações de robótica de serviços, embora ainda em menor número. Num futuro próximo é muito possível conhecerem-se mais aplicações em setores importantes da atividade produtiva portuguesa, como seja, nos setores florestal, mineiro, agricultura, pescas e aquacultura, oceanografia, turismo.

No referido *roadmap* da SPR, os temas identificados como potenciais para o desenvolvimento em Portugal foram os seguintes: a) Sistemas Avançados de Produção; b) Robôs de Serviços Adaptativos; c) Robótica em Rede e Casas Inteligentes; d) Cuidados de Saúde e Qualidade de Vida; e) Sistemas de Transporte e Logística; f) Segurança, Vigilância e Monitorização; g) Educação e Entretenimento; e h) Robótica Espacial (SPR, 2011: 3). É muito provável que venham a surgir outros derivados, sobretudo de novas necessidades económicas e sociais. Mas pelo menos estas áreas já conhecem em Portugal alguma capacidade de desenvolvimento tecnológico. E, certamente, todos estão de acordo novas aplicações vão ser desenvolvidas ou adotadas por setores que tradicionalmente não aplicavam sistemas robotizados.

Todavia, se isso acontecer nos próximos 10 ou 20 anos, vai haver uma forte necessidade de formação de mão de obra com alguma capacidade técnica para operar esses sistemas. Essa necessidade vai fazer-se sentir, em particular, em setores onde já existem problemas de qualificação (floresta, agricultura, cuidados de saúde, pescas, turismo, são alguns exemplos). Assim, a formação avançada para estas tecnologias e a integração desses especialistas necessitam de programas especiais que permitam uma rápida adoção de novos recursos (técnicos e humanos).

Estas condições necessitam de uma forte abertura da cultura empresarial e organizacional para permitir essa endogeneização de competências. É um desafio que as próximas gerações irão resolver. Caso contrário, irão permanecer os problemas de integração de sistemas robotizados em ambientes de trabalho. Em particular, porque estes ambientes também vão requerer uma

inovação na sua conceção que permita a integração de saberes de diferentes gerações: mais velhos com mais saber tácito e menos saber formal, e mais jovens com menos experiência mas com mais conhecimento técnico. Este processo é bastante complexo e requer, também ele, conhecimento especializado sobre novos modelos organizacionais, sobre as capacidades de transferência de tecnologia e de adoção e endogeneização dessas inovações técnicas. Estes são os desafios e as soluções que as empresas enfrentam no curto prazo. Os contextos de transformação vão ser mais exigentes e com implicações nos mercados de trabalho, obrigando a grandes alterações.

A chave da solução pode residir na qualificação. Noutras décadas compreendeu-se que essa chave era o elemento essencial para capacitar a economia e sociedade para processos de modernização. É ainda essa chave que vai permitir responder de modo responsável às alterações que se avizinham e que as atuais características do mercado de emprego permitem perceber que vão acontecer, na linha dos estudos de Frey e Osborne, ou de Brynjolfsson e MacAfee. Não serão alterações que abranjam especificamente os postos de trabalho associados à robótica, mas irão afetar o conjunto do mercado de trabalho, o que por sua vez vai influir no mercado das profissões de maior especialização técnica associada à robótica.



## Bibliografía

- Acemoglu, D. *et al.* (2014), Return of the Solow Paradox? IT, Productivity, and Employment in U.S. Manufacturing, *NBER Working Paper* No. 19837, 23 pp.
- Acemoglu, D. and Restrepo, P. (2017a), Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets, *NBER Working Paper*, n.º 23285.
- Acemoglu, D. and Restrepo, P. (2017b), Artificial Intelligence, Automation, and The Future of Work, in Agarwal, A.; Goldfarb, A. and Gans, J. (eds.), *Economics of Artificial Intelligence*, to be published. Working paper version, 39 pp.
- Adler, F. *et al.*, eds. (1979), *Automation and Industrial Workers*, Oxford, Pergamon Press, Vol. 2.
- Anderson, R.L.; Gartner, W.B. (1985), When robots and people work together. *Robotics*, 1, 69-76.
- Appelbaum E., Bailey T., Berg P. e Kalleberg A.L., eds. (2000): *Manufacturing advantage: why high-performance work systems pay off*, Cornell University Press, Ithaca.
- Arntz, M.; Gregory, T.; Zierahn, U. (2016). The risk of automation for jobs in OECD countries: A comparative analysis, *OECD Social, Employment and Migration working paper* number 189, Paris, OECD.
- Asaro P. (2014). Robots and responsibility from a legal perspective. *Proceedings of the Institute of Electrical and Electronic Engineers*, 20-24.
- Bard, J. F. (1986), An assessment of industrial robots: capabilities, economics, and impacts, *Journal of Operations Management*, 2 (6), 99-124.
- Bechmann, G.; Krings, B.-J.; Rader, M. (2003), *Across the Divide. Work, Organization and Social Exclusion in the European Information Society*. Berlin, Sigma.
- Beck, Ulrich, Org. (2000): *Die Zukunft von Arbeit und Demokratie*. Frankfurt Main

- Bell, D. (1973), *The coming of post-industrial society*, New York, Basic Books.
- Benders, J. et al. (1995), *The Symbiosis of Work and Technology*, London, Taylor & Francis.
- Benhamou, S. (2017), Imaginer l'avenir du travail: Quatre types d'organisation du travail à l'horizon 2030, *France Stratégie Document de Travail*, n.º 2017-05, Abril, 42 pp.
- Berger, T. and Frey, C.B. (2016), Structural Transformation in the OECD: Digitalisation, Deindustrialization and the Future of Work, *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*, n.º 193, 52 pp.
- Berggren, C. (1992), *Alternatives to Lean Production: Work Organization in the Swedish Auto Industry*, New York: ILR Press.
- Berggren, C. (1993): *The Volvo Experience*, Houndmills, Macmillan.
- Bernstein, D., Crowley, K., and Nourbakhsh, I. (2007), Working with a robot: Exploring relationship potential in human-robot systems, *Interaction Studies* 8 (3), pp. 465-482.
- Bessant, J. (1989), *Microelectronics and Change at Work*. Geneva: International Labour Organisation.
- Bijker, W.E.; Hughes, T.P. e Pinch, T., eds. (2012), *The Social Construction of Technological Systems. New directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge, MA. MIT Press, 425 pp.
- Bodine, C. (2013), *Assistive Technology and Science*, Los Angeles, Sage Reference, 272 pp.
- Boyer, R. et al., eds. (1998), *Between Adaptation and Innovation*, New York: Oxford University Press.
- Braverman, Harry (1974), *Labor and Monopoly Capital – The Degradation of Work in the Twentieth Century*, New York, Monthly Review Press.
- Brown, R., ed. (1997), *The changing shape of work*. MacMillan Press, London.
- Brynjolfsson, E.; McAfee, A. (2011), *The Race Against the Machine: How the Digital Revolution is Accelerating Innovation, Driving Productivity and Irreversibly Transforming Employment and the Economy*; Digital Frontier Press: Lexington, KY, USA,
- Brynjolfsson, E. and McAfee, A. (2014), *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*, WW Norton.
- Bullinger, H.-J.; Korndörfer, V.; Salvendy, G. (1987), Human Aspects of Robotic Systems, in: G. Salvendy (ed.), *Handbook of Human Factors*, New York: John Wiley, 1987, pp. 1657-1693
- Büssing, A.; Seifert, H., orgs. (1999): *Die Stechuhr hat ausgedient. Flexible Arbeitszeiten durch technische Entwicklungen*. Berlin.

- Butera, Federico (2015), Automation: Organizational Studies, in *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*, 2.<sup>a</sup> edição, Vol. 2, Elsevier, pp. 296-300.
- Capurro, R. e Nagenborg, M., eds. (2009). *Ethics and Robotics*. Amsterdam: IOS Press.
- Cardial, V. (1990), A flexibilidade como objetivo, *Robótica e Automatização*, n.º 3, pp. 25-28.
- Carey, Alex (1967), The Hawthorne Studies: A Radical Criticism, *American Sociological Review*, 32 (3), pp. 403-416.
- Castillo, J.J. e Prieto, C. (1983), *Condiciones de trabajo. Hacia um enfoque renovador de la sociologia del trabajo*, Madrid, CIS, 385 pp.
- Colgate, J.; Wannasuphprasit, W. and Peshkin, M. (1996), Cobots: Robots for collaboration with human operators, *Proceedings of the International Mechanical Engineering Congress and Exhibition (GA DSC)*, 58, 433-439.
- Compagna, D. e Kohlbacher, F. (2015), The limits of participatory technology development: The case of service robots in care facilities for older people, *Technological Forecasting & Social Change* 93, pp. 19-31.
- Compagna, D.; Weidemann, A.; Marquardt, M.; Graf, P. (2016), Sociological and Biological Insights on How to Prevent the Reduction in Cognitive Activity that Stems from Robots Assuming Workloads in Human-Robot Cooperation. *Societies*, 6, 29.
- Corbett, J.M. (1990), Human Centred Advanced Manufacturing Systems: From Rhetoric to Reality. *International Journal of Industrial Ergonomy*, 5, 83-90.
- Corbett, J.M.; Rasmussen, L.B.; Rauner, F. (1991), *Crossing the Border. The Social and Engineering Design of Computer Integrated Manufacturing Systems*, Londres; Springer.
- Coriat, B. (1994), *L'Atelier et le Chronomètre*, Paris: Christian Bourgeois Editeur.
- Costa, A.A. e Silva, J.A. (1987), Modernização tecnológica na indústria portuguesa, *Economia e Socialismo*, n.º 71, pp. 19-29.
- Dario, P.; Guglielmelli, E.; Genovese, V.; Toro, M. (1996), Robot assistants: Applications and evolution. *Robotic Autonomous Systems*, 18, 225-234.
- Das, A. e Jayaram, J. (2007), Socio-technical perspective on manufacturing system synergies. *International Journal of Production Research*, (45) 1, pp. 169-205.
- De Santis, A.; Siciliano, B.; De Luca, A.; Bicchi, A. (2008), An atlas of physical human-robot interaction. *Mech. Mach. Theory*, 43, 253-270.
- Deva S. (2012), Can Robots have Human Rights Obligations?: a Future Exploration. In S. Muller *et al.* (eds.), *The Law of the Future and the Future of the Law*, Vol. 2, Torkel Opsahl Academic EPublisher, 185-193.

- Di Martino, Vittorio (2001), *The high road to teleworking*, Geneva: ILO.
- Dosi, Giovanni (1984), *Technical change and industrial transformation*. Londres, Palgrave Macmillan, 338 pp.
- Durand, J.-P.; Stewart, P. and Castillo, J.-J., eds. (1998): Teamwork in the automobile industry. Radical change or passing fashion?, Macmillan, London.
- Eason, K.D. (1996), Representing socio-technical systems options in the development of new forms of work organization. *European Journal of Work Organization Psychology*, 5, pp. 399-420.
- Ebel, K.-H. (1987), The impact of industrial robots on the world of work, *Robotics*, Vol. 3, No. 1, March, pp. 65-72.
- Egeland K. (2016). Lethal Autonomous Weapon Systems under International Humanitarian Law. *Nordic Journal of International Law*, 89-118.
- Ejiri, M. (1996), Towards meaningful robotics for the future: Are we headed in the right direction? *Robotic Autonomous Systems*, 18, 1-5.
- Elgozy, Georges, *Automação e Humanismo* (1.ª edição francesa de 1968), Lisboa, Pórtico, s/d, 495 pp.
- Ellul, J. (1990), *La Technique ou l'enjeu du siècle*, Paris, Economica (1.ª edição 1954).
- Elprama, S. A. *et al.* (2013), Identifying barriers in telesurgery by studying current team practices in robot-assisted surgery, In *Proceedings of 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 5-8 Maio, 2013
- Emery, F. e Trist, E. L. (1960): Socio-technical systems, in: Churchman, C. W. & Verhulst, M. (eds.): *Management science. Models and techniques*. Vol. 2, Pergamon, London.
- Ennals, R. e Gustavsen, B. (1999), *Work Organization and Europe as a Development Coalition*, Amsterdam, John Benjamins Publ.
- European Commission (2016), The Future of Work: Skills and resilience for a world of change, *EPSC Strategic Notes*, 13, June 10, 12 pp.
- Fernández-Macías, E. (2017), Automation, Digitalisation and Platforms: Implications for work and employment. Concept paper, *Eurofound Working Paper*, WPEF17035EN, 27 pp.
- Fiorelli, Federico (2017) Technological unemployment as frictional unemployment: From Luddite to routine-biased technological change, *Kybernetes*, (46), [<https://doi.org/10.1108/K-03-2017-0089>].
- Fischer, M.; Lehl, W. *Industrieroboter—Entwicklung und Anwendung im Kontext von Politik, Arbeit, Technik und Bildung*; Donat: Bremen, Germany, 1991.

- Frey, C. B.; Osborne, M. A. (2013), The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?, *Oxford Martin School Working Papers*, September 17.
- Freyssenet, M. *et al.*, eds. (1998), *One Best Way?*, Oxford, Oxford University Press, 476 pp.
- Friedmann, G. (1946), *Problèmes humains du machinisme industriel*, Paris, Gallimard.
- Gallie, D. (1978), *In search of the new working class*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Gonçalves, M. A. F. (2014), *O Estado da Arte da Robótica na Neurocirurgia* (trabalho final de mestrado integrado em Medicina, apresentado à Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra).
- Gonçalves, P.J. (2011), Robótica, uma visão para o futuro. *Revista do Instituto Politécnico de Castelo Branco*. ISSN 1647-9335. Ano 1, n.º 2, pp. 12-18.
- Gorle, P. e Clive, A. (2011), *Positive impact of industrial robots on employment*, London, International Federation of Robotics (IFR) and Metra Martech, 66 pp.
- Gorle, P. e Clive, A. (2013), *Positive Impact of Industrial Robots on Employment: Updated in January 2013 to Take Account of More Recent Data*; IFR/Metra Martech: Londres.
- Graetz, G. and Michaels, G. (2015), Robots at Work, *CEP Discussion Paper*, n.º 1335, Março, Londres, ESRC-LSE. 53 pp.
- Greenan, N.; Kocoglu, Y.; Walkowiak, E.; Csizmadia, P.; Makó, C. (2009), *The Role of Technology in Value Chain Restructuring*; Katholieke Universiteit: Leuven.
- Groom, V.; Takayama, L.; Ochi, P.; Nass, C. (2009) I Am My Robot: The Impact of Robot-building and Robot Form on Operators. In *Proceedings of the 4th ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction (HRI '09)*, San Diego, CA, USA, 11-13 Março.
- Hackman, M. and Oldam, R. (1980), *Work Redesign*, Londres, Sage.
- Haddadin, S. *et al.* (2011), Towards the Robotic Co-Worker. In C. Pradalier, R. Siegwart, and G. Hirzinger (Eds), *Robotics Research*. Springer, Berlin/Heidelberg, pp. 261-282.
- Hägele, M.; Schaaf, W. and Helms, E. (2002), Robot assistants at manual workplaces: Effective co-operation and safety aspects, in *Proceedings of the 33rd International Symposium on Robotics (ISR 2002)*, Stockholm, Sweden, 6 pp.
- Hartwig, M.; Windel, A. (2013), Safety and health at work through persuasive assistance systems. In *Digital Human Modeling and Applications in*

- Health, Safety, Ergonomics, and Risk Management. Human Body Modeling and Ergonomics*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 40-49.
- Hattan T. (2015). Lethal Autonomous Robots: Are They Legal under International Human Rights and Humanitarian Law? *Nebraska Law Rev.* 93, pp. 1035-1057.
- Heath, C.; Knoblauch, H.; Luff, P., 2000: Technology and social interaction: the emergence of 'work-place studies'. *British Journal of Sociology* 51/2 (2000), pp. 299-320.
- Heyns, C. (2016). Human Rights and the use of Autonomous Weapons Systems (AWS) During Domestic Law Enforcement. *Human Rights Quarterly*, 350-378.
- Hinds, P.; Roberts, T. e Jones, H. (2004), Whose Job Is It Anyway? A Study of Human-Robot Interaction in a Collaborative Task, *Human-Computer Interaction*, Vol. 19, pp. 151-181.
- Hoss, D. (1992), Será que existe um 'determinismo tecnológico?', in Kovács, I. et al., *Sistemas flexíveis de produção e reorganização do trabalho*, Lisboa, CESO I&D, pp. 69-87.
- Huws, U.; Korte, W. B. and Robinson, S. (1990), *Telework – Towards the elusive office*, Chichester, Wiley.
- Huws, Ursula, coord. (2005), *The Transformation of Work in a Global Knowledge Economy: towards a conceptual framework*, Leuven.
- IFR (2017), *The Impact of Robots on Productivity, Employment and Jobs: A positioning paper by the International Federation of Robotics*, IFR, 2017, 14 pp.
- Jäger, A.; Cornelius, M.; Oliver, S.; Zanker, C. *Analysis of the Impact of Robotic Systems on Employment in the European Union*; Publications Office of the European Union: Luxembourg, Luxembourg, 2015.
- Jones, Stephen (1990), Worker Interdependence and Output: The Hawthorne Studies Reevaluated, *American Sociological Review*, 55 (2), pp. 176-190.
- Jürgens, U., Malsch, T., Dohse, K. (1993), *Breaking from Taylorism: Changing Forms of Work in the Automobile Industry*, New York: Cambridge University Press.
- Kaiser, M. (1994), A Framework for the Generation of Robot Controllers from Examples. In *Proceedings of the 10th ISPE/IFAC International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future*, 21-24 August; IFAC: Ottawa, ON, Canada.
- Kern, H. e Schumann, M. (1984), *Das Ende der Arbeitsteilung? Rationalisierung in der industriellen Produktion: Bestandsaufnahme, Trendbestimmung* (The End of the Division of Labour? Rationalization in Industrial

- Production: Stocktaking and Trend Determination); Verlag C.H. Beck: Munich, Germany, 1984.
- Kidd, P. and Karwowski, W. eds. (1994), *Advances in Agile Manufacturing. Integrating Technology, Organization and People*, Amsterdam, IOS Press.
- Kiesler, S.; Hinds, P. (2004), Introduction to this special issue on Human-Robot Interaction. *Human Computer Interaction*, 19, 1-8.
- Kim, J.S. e Jang, Y.H. (2017), Development of Stable Walking Robot for Accident Condition Monitoring on Uneven Floors in a Nuclear Power Plant, *Nuclear Engineering and Technology*, 49, pp. 632-637.
- Kim, Y.; Mutlu, B. How social distance shapes human-robot interaction. *International Journal of Human-Computer Systems*, 2014, 72, 783-795.
- Kobayashi, Y.; Onishi, M.; Hosoe, S.; Luo, Z. (2013), Multi-tasking arbitration and behaviour design for human-interactive robots. *International Journal of Systems Sciences*, 44, 795-811.
- Kochan, A. (2006), Robots and operators work hand in hand. *Industrial Robot: An International Journal*, 33(6), pp. 422-424.
- Kock, S. et al. (2011) A Robot Concept for Scalable, Flexible Assembly Automation: A technology study on a harmless dual-armed robot from ABB. In *Proceedings of the IEEE ISAM 2011 International Symposium on Assembly and Manufacturing*, Tampere, Finland, 25–27 May.
- Kovács, I. (org.): *Tendências actuais da mudança tecnológica e organizacional na indústria – Um estado da arte*, Lisboa, JNICT/FCT-UNL, 1987.
- Kovács, I.; Moniz, A.B.; Steiger-Garção, A.; Teixeira, C.: *Social Problems of the Introduction of Industrial Automated Systems: A Portuguese Report*, Monte da Caparica, Grupo de Robótica, 1987, 36 pp.
- Kovács, I.; Moniz, A.B.; Steiger-Garção, A., *Flexible Production Systems and Work Organization: The Portuguese Situation for the Nineties*, Monte da Caparica, Grupo de Robótica, 1987, 18 pp.
- Kovács, I.; Moniz, A.B.: *Aspects sociaux de l'automation industrielle au Portugal: Analyse de quelques cas*, Monte da Caparica, Grupo de Robótica, 1987 (GR RT-IS-24-87), 26 pp.
- Kovács, I.; Steiger-Garção, A.; Moniz, A.B. (1987), Sistemas automatizados de produção e organização do trabalho (Relatório FAST-2), in JNICT, *Previsão e avaliação em ciências e tecnologia*, Lisboa, JNICT.
- Kovács, I.; Steiger-Garção, A.; Moniz, A.B.: *Automated Systems of Production and Work Organization (FAST2)*, Monte da Caparica, Grupo de Robótica, 1987 (GR RT-IS-16-87), 30 pp.
- Kovács, I.: “Mudança tecnológica versus mudança organizacional ou processo de inovação integrado na indústria”, in CISEP: *O Comportamento*

- dos Agentes Económicos e a Reorientação da Política Económica*, Lisboa, CISEP-ISE/UTL, Vol. 1, 1986, pp. 271-288.
- Kovács, I.: *Inovação tecnológica, organização do trabalho e relações laborais*, Monte da Caparica, Grupo de Robótica, 1987 (GR RT-L5-08-87), 17 pp.
- Kravaritou-Manitakis, Y., *New Forms of Work: labour law and social security aspects in the European Community*, Dublin, European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. 1988.
- Krings, B.-J. (2007), Make like a man: the demands of creative work, gender and the management of everyday life, *Work Organisation, Labour and Globalisation*, 1(2), pp. 89-107.
- Krings, B.-J. (2008), Global restructuring and its effects on occupations: Towards a new division of labor? In *Proceedings of the International Conference DFG Graduate School Topology of Technology*, Darmstadt, Germany, 30-31 October.
- Krings, B.-J., Ed. (2011), *Brain Drain or Brain Gain? Changes of Work in Knowledge-based Societies*. Berlin, Sigma.
- Krings, B.-J. (2013): Arbeit und Technik. In: Grunwald, A., org., *Handbuch Technikethik*. Stuttgart, Weimar: Metzler, pp. 217-222.
- Kromann, L., Skaksen, J.R. e Sorensen, A. (2011) Automation, Labour Productivity and Employment—A Cross Country Comparison. *Working Paper, CEBR*, Copenhagen Business School, Copenhagen, 16 pp.
- Krüger, J.; Lien, T. and Verl, A. (2009), Cooperation of human and machines in assembly lines, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 2 (58), 628-646.
- Laessoe, J.; Rasmussen, L. (1989), *Human-Centered Methods—Development of Computer-Aided Work Processes*; Esprit-Project 1217(1199) Human-Centered CIM-Systems, Deliverable R18; Institute for Samfundsfag, Tekniske Hojskole Kongena: Lyngby.
- Law, P. (2015), Social Robotics in Health-Care Service: The Case of Rehabilitation Programmes in Hong Kong, in J. Vincent *et al.* (eds.), *Social Robots from a Human Perspective*, Springer, pp. 55-65.
- Lay, G.; Shapira, P.; Wengel, J., Eds. (1999), *Innovation in Production – The Adoption and Impacts of New Manufacturing Concepts in German Industry*. Physica-Verlag, Heidelberg.
- Leontieff, W. e Duchin, F. (1986), *The Future Impact of Automation on Workers*, New York, Oxford University Press, 170 pp.
- Lenz, C. *et al.* (2008), Joint-action for humans and industrial robots for assembly tasks, in *Proceeding of the IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2008)*, 130-135.

- Lenz, C. (2011), *Context-Aware Human-Robot Collaboration as a Basis for Future Cognitive Factories*. Tese de doutoramento, Technische Universität München, Munich.
- Lin P.; Abney K.; Bekey. G.A., eds. (2012). *Robot Ethics: The Ethical and Social Implications of Robotics*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Lloyd, P. e Mills, S.C. (1985), Working on the Transfer Line – The British Report, in Forslin, J. et al., *Automation and Industrial Workers*, (Vol. 1, Part 2), Oxford, Pergamon, pp. 163-193.
- Macduffie, J. P. (1996), *International Trends in Work Organization in the Auto Industry: National-Level vs. Company-Level Perspectives*, MIT Press.
- Mallet, Serge (1969), *La nouvelle classe ouvrière*, Paris, Seuil.
- Manyika, J. et al. (2017), *Jobs lost, jobs gained: workforce transitions in a time of automation*, McKinsey & Co., 160 pp.
- MAR (2014), *Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap for Robotics in Europe*, EUrobotics, 183 pp.
- Mayo, E. (1930), The human effect of mechanization, in *Papers and Proceedings of the 42th Annual Meeting of the American Economic Association*, Vol. 20 (1), March, pp. 156-176.
- Mayo, E. (1933) *The Human Problems of an Industrial Civilization*, New York, Harvard Univ. Press.
- McGregor, D. (1960), *The Human Side of Enterprise*, New York, McGraw-Hill.
- McKinsey Global Institute (2017), *A Future that Works: Automation, Employment and Productivity*, McKinsey & Company, 148 pp.
- Meil P., Tengblad P., Docherty P. (2009), *Value chain restructuring and industrial relations – the role of workplace representation in changing conditions of employment and work*, WORKS report, HIVA-K.U. Leuven, Leuven.
- Micelli, S. (1995): Nummi versus Uddevalla: Apprentissage et Mémoire dans la Production Industrielle, *Sociologie du Travail*, 5, pp. 345-363.
- Moniz, A.B. (1986): *Technological and Organizational Changes in Portugal (Sixties-Eighties)*, Monte da Caparica, Grupo de Robótica, (UNL DI 41/86 UNIROB AP-G-33-86), 24 pp.
- Moniz, A.B. (1987), *Incidências sociais da introdução de processos de automação na indústria – Abordagem a estudos de casos na Europa*, Monte da Caparica, Grupo de Robótica, (GR RT-IS-07-87), 24 pp.
- Moniz, A.B. (1990), Aplicação de robôs em Portugal: Contribuição para a análise comparativa de setores, casos, implicações económicas e sociais, *Organizações e Trabalho*, n.ºs 3-4, pp. 59-74.

- Moniz, A.B. (1992), Condições de trabalho em ambientes automatizados na indústria, *Organizações e Trabalho*, 7-8, APSIOT, pp. 149-159.
- Moniz, A.B. (2007), The Collaborative Work Concept and the Information Systems Support: Perspectives for and from Manufacturing Industry. *Technikfolgenabschätzung—Theorie und Praxis*, 16, 49-57.
- Moniz, A. B. (2012), Anthropocentric-based robotic and autonomous systems: assessment for new organisational options, in Decker and Gutmann, eds., *Robo- and Informationethics: Some fundamentals*, Zürich/Berlin, LIT, pp. 123-157. [<http://ideas.repec.org/p/ieue/wpaper/27.html>]
- Moniz, A. B. (2014), Organisational challenges of human-robot interaction systems in industry: Human resources implications, in Machado, C. and Davim, J.P. (eds.), *Human Resource management and Technological Challenges*, Heidelberg, Springer, pp. 123-131.
- Moniz, A. B. (2015) Intuitive Interaction Between Humans and Robots in Work Functions at Industrial Environments: The Role of Social Robotics. In Vincent, J. et al. (eds.), *Social Robots from a Human Perspective*, Heidelberg: Springer, pp. 67-76.
- Moniz, A.B. e Decker, M. (2015), Robotics Technology Assessment: New challenges, implications and risks. A session summary, in Scherz, C. et al. (eds.), *The Next Horizon of Technology Assessment*, Prague, Technology Centre ASCR, pp. 249-252, 435.
- Moniz, A.B. e Krings, B.-J. (2016) Robots Working with Humans or Humans Working with Robots? Searching for Social Dimensions in New Human-Robot Interaction in Industry, *Societies*, vol. 6(3), p. 23.
- Moniz, A.B. e Krings, B.-J. (2014), Technology assessment approach to human-robot interactions in work environments, in *Proceeding of the 7th International Conference on Human System Interaction (HSI14)*. Costa de Caparica: IEEE Xplore, Caparica
- Moniz A. B., Paulos M.R. and Bannink D. (2009), Change processes and methodologies of future perspectives of work, WORKS report, HIVA-K.U.Leuven, Leuven.
- Naville, Pierre (1958), Vues préliminaires sur les conséquences du développement de l'automatisme pour la main d'œuvre industrielle, *Cahiers d'Étude de l'Automatisme*, 2, Paris, pp. 3-25.
- Nee, A.Y.C.; Ong, S.K.; Chrysolouris, G.; Mourtzis, D. (2012), Augmented reality applications in design and manufacturing. *CIRP Ann. Manuf. Technol.*, 61, 657-679.
- OECD (1989), *New directions in management practices and work organization*, Paris, OECD.

- OECD (2014), *Perspetivas das políticas de educação – Portugal*, Paris OECD.
- OECD (2015), *The Future of Productivity*, Paris, OECD Publishing.
- Pew Research Center (2014), *AI, Robotics, and the Future of Jobs*, disponível em: <http://www.pewinternet.org/2014/08/06/future-of-jobs/>.
- Pfeiffer, S.; Suphan, A. (2015), The Labouring Capacity Index: Living Labouring Capacity and Experience as Resources on the Road to Industry 4.0, *Working Paper #2*, University of Hohenheim, 43 pp.
- Pfeiffer, S. (2016), Robots, Industry 4.0 and Humans, or Why Assembly Work Is More than Routine Work. *Societies*, 6, 16.
- Pieskä, S.; Kaarela, J.; Saukko, O. (2012), Towards easier human-robot interaction to help inexperienced operators in SMEs, in *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom2012)*, Kosice, pp. 333-338.
- Piore, M.J. and Sabel, Ch. (1984), *The Second Industrial Divide – Possibilities for Prosperity*, Basic Books, New York.
- Pires, J. Norberto (2011), Productive robotics in Europe: evolution, trends and challenges, *Industrial Robot: An International Journal*, Vol. 38 (1)
- Prassler, E., Lawitzky, G., Stopp, A., Grunwald, G., Hägele, M., Dillmann, R., Iossifidis, I., Eds. (2005), *Advances in Human-Robot Interaction*, Berlin/Heidelberg; Springer.
- Prewett, M. S. *et al.* (2010), Managing workload in human-robot interaction: A review of empirical studies, *Computers in Human Behavior*, No. 26, pp. 840-856.
- Ramioul, Monique (2008), Work organisation and restructuring in the knowledge society, *Enterprise and Work Innovation Studies*, 4: 9-19.
- Rinkenauer, Böckenkamp e Weichert (2017), Man-Robot Collaboration in the Context of Industry 4.0: Approach-Avoidance Tendencies as an Indicator for the Affective Quality of Interaction? In: Schlick C. *et al.* (eds) *Advances in Ergonomic Design of Systems, Products and Processes*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 335-348. [[https://doi.org/10.1007/978-3-662-53305-5\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-662-53305-5_24)]
- Rip, A.; Misa, Th.; Schot J.W. eds. (1995), *Managing Technology in Society. The Approach of Constructive Technology Assessment*, London: Pinter Publishers.
- Ritter, H., ed. (2009), *Human Centered Robot Systems. Cognition, Interaction, Technology*; Springer: Berlin/Heidelberg.
- Roethlisberger, F.J.; Dickson, W.J. (1939), *Management and the Worker*, Cambridge, Harvard Univ. Press.

- Rohrbach-Schmidt, D. e Tiemann, M. (2013), Changes in workplace tasks in Germany—evaluating skill and task measures, *Journal of Labour Market Research*, 46:215-237.
- Schraft, R.D.; Meyer, C. (2006), *The need for an Intuitive Teaching Method for Small and Medium Enterprises*. Berlim, VDI 1956.
- SESAR Joint Undertaking (2015), *European ATM Master Plan*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 126 pp.
- Shimokawa, K., Jürgens, U., Fujimoto, T., eds. (1997), *Transforming the Automobile Assembly: Experience in Automation and Work Organization*, Berlin: Springer.
- Stipancic T., Jerbic B., Curkovic P., (2012), Context-Aware System Applied in Industrial Assembly Environment, *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 9, 234, pp. 1-10
- Takata, S. e Hirano, T. (2011), Human and robot allocation method for hybrid assembly systems, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 60, p. 9-12 [doi:10.1016/j.cirp.2011.03.128]
- Tapscott, D. (1997), *The Digital Economy. Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence*. McGraw-Hill.
- Taylor, F.W. (1957), *La Direction Scientifique des Entreprises*, Paris, Dunod.
- Thrun, S. (2004), Toward a Framework for Human-Robot Interaction, *Human-Computer Interaction*, 19:1-2, pp. 9-24
- Touraine, A. (1974), *The post-industrial society: tomorrow's social history, classes, conflicts and culture in the programmed society*, Wildwood House, London.
- Touraine, Alain (1955), *L'évolution du travail ouvrier dans les usines Renault*, Paris, CNRS.
- Tranfield, D.; Smith, S.; Ley, C.; Bessant, J.; Levy, P. (1991), Changing organizational design and practices for computer integrated technologies. *International Journal of Technology Management*, 6, 211-221.
- Trist, E.L. e Bamforth, K.W. (1951), Some Social and Psychological Consequences of the Longwall Method of Coal-Getting, *Human Relations*, 4 (1).
- Tsarouchi, P.; Matthaiakis, A.-S.; Makris, S. e Chryssolouris, G. (2017), On a human-robot collaboration in an assembly cell, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30:6, 580-589, [DOI: 10.1080/0951192X.2016.1187297]
- Tsarouchi, P.; Makris, S.; Chryssolouris, G. (2016), Human-robot interaction review and challenges on task planning and programming. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 29, 916-931.
- Valenduc, G. (s/d), *La technologie, un jeu de société*, Louvain-la-Neuve, Academia Bruyland, 251 pp.

- Van Est, R.; Kools, L., eds. (2015), *Working on the Robot Society. Visions and Insights from Science Concerning the Relationship between Technology and Employment*; Rathenau Institute: The Hague.
- Veblen, T. (1904), *The Theory of Business Enterprise*, Nova Iorque, Charles Scribner's Sons.
- Wall, J.; Clegg, C.W.; Kemp, N.J., Eds. (1987), *The Human Side of Advanced Manufacturing Technology*. Chichester, John Wiley & Sons.
- Wallhoff, F. et al. (2010), A skill-based approach towards hybrid assembly, *Advanced Engineering Informatics* 24 (2010) 329-339.
- Warner, M.; Werner, W.; Brödner, P., Eds. (1990), *New Technology and Manufacturing Management*, Chichester, John Wiley & Sons.
- Weiss, A., Wurhofer, D., Lankes, M., and Tscheligi, M. (2009). Autonomous vs. tele-operated: How people perceive human-robot collaboration with HRP-2. In *HRI'09: Proceedings of the 4th ACM/IEEE international conference on human robot interaction* (ACM, New York, pp. 257-258).
- Womack, J.P. e Jones, D.T. (1996), *Lean Thinking*, Londres, Touchstone, 350 pp.
- Woomack, J. P.; Jones, D.; Roos, D. (1990), *The Machine that changed the world*, New York, Rawson Associates.
- You, S. e Robert, L. (2017), Teaming up with Robots: An IMO (Inputs-Mediators-Outputs-Inputs) Framework of Human-Robot Teamwork, *International Journal Robotic Engineering*, 2:003, 7 pp.

