

**DETERMINANTES POLÍTICO-INSTITUCIONAIS NA FORMAÇÃO DE REDES DE  
INOVAÇÃO EM TECNOLOGIAS EMERGENTES**

Ricardo João Lourenço de Abreu

Tese especialmente elaborada para obtenção do grau de  
**Doutor em Políticas Públicas**

Orientadora:  
Professora Doutora Maria Teresa Patrício, Professora Associada,  
ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa

Abril, 2019





**Instituto Universitário de Lisboa**

Escola de Sociologia e Políticas Públicas  
Departamento de Ciência Política e Políticas Públicas

**DETERMINANTES POLÍTICO-INSTITUCIONAIS NA FORMAÇÃO DE REDES DE  
INOVAÇÃO EM TECNOLOGIAS EMERGENTES**

Ricardo João Lourenço de Abreu

Tese especialmente elaborada para obtenção do grau de  
**Doutor em Políticas Públicas**

**Júri:**

**Presidente:**

Doutor Pedro Adão e Silva Cardoso Pereira, Professor Auxiliar do ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

**Vogais:**

Doutor Tiago Santos Pereira, Investigador Principal do Centro de Estudos Sociais da Universidade de Coimbra

Doutor Nuno Filipe França Gouveia Boavida, Investigador Auxiliar do Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais da  
Universidade Nova de Lisboa

Doutor João Rodrigo Ferreira Graça Daniel, Investigador no William James Center for Research do ISPA - Instituto  
Universitário de Ciências Psicológicas, Sociais e da Vida

Doutora Patrícia Durães Ávila, Professora Associada do ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

**Orientadora:**

Doutora Maria Teresa Moraes Sarmento Patrício, Professora Associada do ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

## **Agradecimentos**

Este trabalho é fruto de uma longa viagem académica, pautada pelo apoio e rigor da Professora Doutora Maria Teresa Patrício, que orientou os momentos mais difíceis da investigação e congratulou os sucessos desta pesquisa.

Vota-se uma palavra especial de agradecimento ao Frederico d'Orey, um amigo que acompanhou esta epopeia e sem ele o caminho teria sido difícil ou mesmo impossível.

Expressa-se também um agradecimento à Professora Doutora Filomena Almeida, na condição de responsável do Laboratório de Línguas e Competências Transversais (LLCT-IUL), acolheu o autor, na sua equipa de docentes, sem a qual, não teria a possibilidade de experienciar a docência.

Agradece-se ao Laboratório de Instrumentação e Física Experimental que através da Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída, permitiu testar e analisar alguns dados desta investigação.

Agradece-se aos colegas e amigos que durante os anos deste percurso, concederam a sua opinião, conhecimento, paciência e amizade.

Manifesta-se uma profunda gratidão à família e entes queridos, em particular à mãe do autor e à sua amada Raquel.

## Resumo

O desenvolvimento do sistema de inovação em nanotecnologia no Espaço Europeu de Investigação foi moldado pelas políticas públicas europeias e nacionais. Em particular, os Programas Quadro promovidos pela Comissão Europeia a par de outras instituições europeias, tiveram e continuam ter um papel preponderante no desenvolvimento científico e tecnológico dos Estados-membros. Esta investigação propõe um modelo de análise institucional aos sistemas de inovação europeus, no setor da nanotecnologia, determinado pelas relações e interligações, entre todos os atores institucionais dos sistemas socioeconómicos e políticos. Numa abordagem, *sui generis* ao neo-institucionalismo, foi possível identificar três dimensões institucionais impactantes dos sistemas de inovação. A implementação de métodos estatísticos baseados na família de grafos aleatórios exponenciais (i.e. Exponential Random Graph Models ou ERGMs), permitiu avaliar o impacto das três dimensões institucionais dos sistemas de inovação. Os resultados empíricos, revelam a importância de determinados por estes fatores institucionais, nas configurações de rede entre os atores, que integram os projetos de inovação do 7º Programa-Quadro em nanotecnologia. Os resultados, demonstram ainda que a introdução de técnicas avançadas em Análise de Redes Sociais, permitem a compreensão dos fenómenos de interação entre atores dos sistemas de inovação e a avaliação das políticas públicas, ao nível institucional.

**Palavras-chave:** Nanotecnologia; União Europeia; Políticas Públicas; Inovação; Institucionalismo; 7º Programa Quadro; Análise de Redes Sociais; ERGM

## Abstract

The development of the nanotechnology innovation system in the European Research Area has been shaped by European and national public policies. Particularly, the Framework Programs promoted by the European Commission, alongside other European institutions have had and continue to play a leading role in the scientific and technological development of the EU Member States. This research proposes a model of institutional analysis for European innovation systems in the nanotechnology sector, determined by the relationships and interconnections, among all institutional actors of socioeconomic and political systems. In a *sui generis* approach to neo-institutionalism, it was possible to identify three major institutional dimensions of innovation systems. The deployment of statistical methods based on the Exponential Random Graph Models (ERGMs) allowed us to evaluate the impact of these three institutional dimensions of innovation systems. The empirical results reveal the importance of this institutional factors in the network configurations, between the actors that are part innovation projects of the 7th Framework Program on nanotechnology. The results also show that, the introduction of advanced techniques in Social Network Analysis, allow the understanding the interaction phenomena between actors of innovation systems and the evaluation of public policies at institutional level.

**Keywords:** Nanotechnology; European Union; Public Policy; Innovation; Institutionalism; 7th Framework Programme; Social Network Analysis; ERGM

# Índice

<b>Resumo</b> .....	<b>v</b>
<b>Índice de Equações</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de Quadros</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>vii</b>
<b>Lista de Siglas e Acrónimos</b> .....	<b>viii</b>
<b>Capítulo 1 - Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>Capítulo 2 - Abordagens teóricas à inovação</b> .....	<b>7</b>
2.1. Abordagem sistémica à inovação .....	7
2.2. Abordagem institucional à inovação .....	17
<b>Capítulo 3 - Enquadramento histórico das políticas públicas para a ciência e tecnologia</b> .....	<b>37</b>
3.1. O desenvolvimento das políticas europeias de ciência e tecnologia .....	37
<b>Capítulo 4 - As tecnologias emergentes e o surgimento da nanotecnologia nos Programas Quadro IDT</b> .....	<b>57</b>
4.1. Introdução do conceito de tecnologias emergentes .....	57
4.2. A nanotecnologia como tecnologia emergente .....	58
4.3. A relevância das colaborações na União Europeia e no Programa Quadro.....	66
4.4. As políticas europeias para a nanotecnologia.....	68
<b>Capítulo 5 – Análise Redes institucionais de inovação</b> .....	<b>81</b>
5.1. A Análise de Redes Sociais como metodologia de investigação social .....	81
5.2. Abordagem às redes nos sistemas de inovação.....	84
5.3. Conceitos fundamentais em Análise de Redes Sociais .....	89
5.4. Conceitos avançados na Análise de Redes Sociais: os modelos ERGM.....	96
<b>Capítulo 6 – Metodologias de investigação: a defesa de um modelo</b> .....	<b>110</b>
6.1. Modelo concetual de análise institucional aos sistemas de inovação .....	110
6.2. Hipóteses de investigação .....	111
6.3. Metodologias para recolha de dados em redes de inovação .....	114
<b>Capítulo 7 – Análise das redes de inovação em tecnologias emergentes: a nanotecnologia na Europa</b> .....	<b>132</b>
7.1. Caracterização das redes institucionais de inovação em nanotecnologia.....	132
7.2. Determinantes de formação de redes de inovação em nanotecnologia .....	158
<b>Capítulo 8 - Conclusões</b> .....	<b>171</b>
<b>Bibliografia</b> .....	<b>187</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>207</b>

## Índice de Equações

Equação 5.1 - Modelo de probabilidade condicionada .....	108
Equação 7.1 - Probabilidade de existência de ligações.....	159

## Índice de Quadros

Quadro 2.1 - Arranjos Institucionais segundo a intervenção de mercado.....	21
Quadro 2.2 - Níveis de especialização da força de trabalho por tipo de inovação.....	26
Quadro 2.3 - Componentes de análise institucional de Hollingsworth .....	29
Quadro 2.4 - Resumo da abordagem institucionalista à inovação tecnológica .....	35
Quadro 4.1 - Lista concisa de relatórios de apoio às políticas públicas europeias para as nanociências .....	70
Quadro 5.1 - Exemplos de unidades de estudo na Análise de Redes Sociais .....	90
Quadro 5.2 - Tipologia de dados e análise.....	90
Quadro 6.1- Quantidade de projetos por tipo de financiamento .....	118
Quadro 6.2 - Quantidade de Projetos por Tópico de I&D .....	118
Quadro 6.3 -Tipo de dados recolhidos por fonte de dados .....	120
Quadro 6.4 - Atributos dos atores da rede de inovação segundo as dimensões socioinstitucionais (variáveis explicativas) .....	129
Quadro 7.1 - Caraterização dos estados-membros segundo os fatores institucionais socioeconómicos dos sistemas de inovação (dados respeitantes ao período vigente do 7ºPQNMP 2007-2013 .....	134
Quadro 7.2 - Caraterização dos estados-membros segundo os fatores institucionais político-económicos dos sistemas de inovação.....	136
Quadro 7.3 - Caraterização dos estados-membros segundo os fatores institucionais tecno-sociológicos dos sistemas de inovação.....	138
Quadro 7.4 -Número de participantes por tipo de instituição de inovação e estado-membro.....	140
Quadro 7.5 - Quantidade e investimento em projetos coordenados por país.....	143
Quadro 7.6 - Níveis de centralidade dos participantes por ranking .....	151
Quadro 7.7 -Modelos ERGM da rede de inovação em nanotecnologia.....	161
Quadro 7.8 - Modelo ERGM da tipologia de participantes (homofilia) .....	164
Quadro 7.9 - Lista de hipóteses de investigação.....	167

## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Modelo de interações em cadeia de Kline e Rosember .....	8
Figura 2.2 - Modelo de interações em cadeia .....	9
Figura 2.3 - Modelo de interdependências de Godinho .....	11
Figura 4.1-Comparação entre políticas públicas europeias e nacionais para a nanotecnologia em determinados Estados-membros .....	76
Figura 5.1 - Representação analítica dos grafos (ou redes) .....	93
Figura 6.1- Modelo concetual de análise institucional ao sistema de redes de inovação.....	111
Figura 6.2 - Arvore de decisão para a identificação das organizações segundo os setores dos sistemas de C&T .....	117
Figura 7.1- Rede de inovação em nanotecnologia (7ºPQ-NMP) por tipo de participante com mais de 100 ligações ....	142
Figura 7.2 - Rede de inovação dos projetos NMP .....	146
Figura 7.3 - Rede de inovação formada a partir dos projetos Energia (ENERGY) .....	147
Figura 7.4 - Rede de inovação formada a partir dos projetos Ambiente (ENV).....	148
Figura 7.5 - Rede de inovação formada a partir dos projetos FoF (PPP).....	149
Figura 7.6 - Rede de inovação formada a partir dos projetos EeB (PPP) .....	149
Figura 7.7 - Rede de inovação formada a partir dos projetos GC (PPP).....	150
Figura 7.8 - Rede de inovação formada a partir dos projetos GC-SST (PPP) .....	150
Figura 7.9 -Visualização da rede institucional dos sistemas de inovação em nanotecnologia (participantes).....	154
Figura 7.10 - Rede de participantes portugueses nos projetos do 7ºPQ-NMP.....	155
Figura 7.11 - Visualização da rede de inovação em nanotecnologia (projetos de I&D).....	157

## **Lista de Siglas e Acrónimos**

- C&T. *Ciência e Tecnologia*  
CE. *Comissão Europeia*  
CEE. *Comunidade Económica Europeia*  
CERN. *European Organization for Nuclear Research*  
CIT. *Committee on Innovation and the Transfer of Technology*  
COST. *European Cooperation in Science and Technology*  
CREST. *Comité de la Recherche Scientifique et Technique*  
DGRTD. *Directorate-General for Research and Innovation*  
ECU. *European Currency Unit*  
EEC. *Community Initiative*  
EMBO. *European Molecular Biology Organization*  
ESA. *European Space Agency*  
ESF. *European Science Foundation*  
ESO. *European Southern Observatory*  
ESPRIT. *European Strategic Program on Research in Information Technology*  
FAST. *Forecasting and Assessment in Science and Technology*  
JRC. *Joint Research Centre*  
PME. *Pequenas e Médias Empresas*  
PQ-IDT. *Programas-Quadro para a Investigação e Desenvolvimento Tecnológico (ou Programa-Quadro PQ)*  
PREST. *Policy Research in Engineering Science and Technology*  
SPRINT. *Strategic Programme for Innovation and Technology Transfer*  
STRIDE. *Community initiative (EEC) concerning regional capacities for research, technology and innovation*  
NMP. *Nanosciences, nanotechnologies, Materials and new Production technologies*  
N&N. *Nanotechnology & Nanoscience*  
ARS. *Análise de Redes Sociais*  
I&D. *Investigação e Desenvolvimento*  
NNI. *Nanoscience and Nanotechnology Institute*  
VdC. *Varieties de Capitalismo (Varieties of Capitalism)*  
EML. *Economias de Mercado Liberal*  
EMC. *Economias de Mercado Conservador*  
GST. *Grandes Sistemas Tecnológicos*  
EEI. *Espaço Europeu de Inovação (European Research Area, ERA)*  
TE. *Tecnologias Emergente*  
TIC. *Tecnologias da Informação e Comunicação*

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A construção europeia está marcada pelo desenvolvimento tecnológico, da revolução industrial do século XVIII às políticas científicas da União Europeia, a sociedade europeia emergiu do pântano socioeconómico para se tornar uma das sociedades mais avançadas do mundo moderno. O pós-guerra dos anos 50, demonstrou que a ciência e a inovação tecnológica são elementos agregadores de pessoas, organizações e nações. O reflexo deste fenómeno está gravado nos diversos tratados políticos que floresceram na entre os estados-membros da União Europeia.

Uma nova etapa na revolução industrial está lançada e com ela novos desafios sociais de âmbito global. Esta revolução tem a nanotecnologia como principal pilar da estrutura científica, tecnológica e política das sociedades desenvolvidas e emergentes. E esta surge quando, Richard P. Feynman (1960), desafiou a comunidade científica a imaginar uma cabeça de um alfinete ampliada vinte e cinco mil vezes, afirmando que caberiam lá todas as páginas da Enciclopédia Britânica. Desde então, as nanociências e nanotecnologias são recursos e base de estudo de diversas disciplinas científicas e aplicações industriais.

No início deste século dá-se o grande desenvolvimento das nanociências e nanotecnologias, com a criação do National Nanotechnology Institute (NNI) pelo Presidente Clinton (Clinton, 2000), com o objetivo de coordenar toda a atividade científica, tecnológica e política para a nanotecnologia nos EUA. Na Europa, a partida coincide com a introdução do “Plano de Ação para as Nanociências e Nanotecnologia” para o período de 2005 a 2009, inspirado no comunicado, “Para uma Estratégia Europeia sobre Nanotecnologias”(C. Europeia, 2004).

A nanotecnologia como fonte para o progresso científico e tecnológico é global, multidisciplinar controversa. Estabelecida como estratégia de investigação e desenvolvimento por grande parte dos países, está presente como objeto ou instrumento de investigação de áreas científicas diversas e é discutida em fóruns públicos, políticos e científicos, pois os seus impactos sociais são alvo de discussão pública no âmbito da regulação, da ética e da economia (Allhoff, Lin, Moor, Weckert, & Roco, 2007).

O sector da nanotecnologia tem sido foco de interesse de diversos governos, indústrias e nações (Bhat, 2003), cada país introduzindo nos seus sistemas de inovação fatores sociais e económicos que promovem o desenvolvimento desta tecnologia emergente. A corrida à

nanotecnologia é global - praticamente todas as regiões do mundo estão envolvidas em projetos industriais e de investigação nas Nanociências e Nanotecnologias (N&N).

Na Europa, os vários Estados-membros apresentam diferentes níveis de desenvolvimento das N&N, coerentes com os seus sistemas de investigação científica e tecnológica e pressão institucional europeia. Esta quebra de simetria na integração do Espaço Europeu de Investigação, em particular no desenvolvimento da nanotecnologia, é fruto da dinâmica institucional dos atores e políticas públicas europeias e nacionais.

Um reflexo dessas políticas públicas europeias são os Programas-Quadro (PQ) para o desenvolvimento científico e tecnológico com o objetivo construir um Espaço Europeu de Investigação. São já três décadas de PQ em prol da inovação europeia e da cooperação estratégica entre os Estados-membros. Do “Critério de Reisenhuber” que inspirou a criação do 1ºPQ, ao Tratado de Amesterdão que reforçou a Europa a desenvolver a Investigação e Desenvolvimento (I&D) científico sob a égide dos PQ, o objetivo foi sempre a colaboração do tecido empresarial industrial com os centros de saber das universidades e centros de investigação.

Ao longo dos últimos anos, o Espaço Europeu de Investigação foi evoluindo moldando-se aos critérios dos PQ e das políticas públicas emanadas pelas instituições comunitárias. Campos emergentes de ciência e inovação como a nanotecnologia surgiram no léxico político em meados de 2000, de início nos EUA, mas rapidamente acompanhados pela Europa. É no 6ºPQ que as políticas científicas orientadas para engenharia dos materiais veem a “luz do dia” com os primeiros projetos colaborativos de I&D. Mas é só com “7ºFP for Nanosciences, Nanotechnologies, Materials & New Production Technologies” (7ºPQ-NMP) que programas específicos para as N&N surgem como instrumento efetivos de política pública.

O objetivo primordial do 7ºPQ-NMP é o desenvolvimento científico e tecnológico de produtos e serviços no setor das N&N. Para esse efeito as políticas públicas expressas nos PQ incutem no Espaço Europeu de Investigação a formação de redes de colaboração entre empresas, universidades, centros de investigação e outras instituições governamentais, numa espécie de simbiose multidimensional institucional (Etzkowitz, 2008; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000).

Na perspetiva político-económica, a colaboração científica e tecnológica em setores competitivos, imprimem profundas transformações institucionais, quer pela introdução de novas

tecnologias, organizações e até novas políticas (Freeman, 1991). Há muito que os estudos sobre inovação realçam o papel das tecnologias e dos atores socioeconómicos na construção de redes de inovação (Dodgson, Gann, & Phillips, 2013; Etzkowitz, 2008; Freeman, 1991), contudo os instrumentos institucionais como as políticas públicas, podem desempenhar um papel preponderante na formação destas redes de colaboração.

Sendo assim, somos interpelados a questionar sobre o impacto de diversos fatores institucionais capazes de transformar a dinâmica da inovação, em particular na formação de redes de inovação em tecnologias emergentes. As políticas científicas para a nanotecnologia, visadas no 7º PQ NMP, revelam uma intervenção institucional ao mais alto nível, na promoção de redes de colaboração científica entre diversos e dispersos atores socioeconómicos europeus. Contudo poderão existir, outros fatores institucionais inerentes ao perfil político-económico dos estados-membros e suas estratégias para o desenvolvimento científico e tecnológico.

Com a pretensão de compreender os fatores transformativos que aprofundam estas diferenças institucionais no puzzle europeu, este trabalho de investigação apresenta um desenvolvimento teórico compreendido em três abordagens à inovação: a sistémica, fundamentada nas teorias dos sistemas de inovação; a institucional, assente nas teorias do “novo-institucionalismo”<sup>1</sup>; e a abordagem institucional aos sistemas de inovação (visão integradora do institucionalismo nos sistemas de inovação). A partir da fundamentação teórica sugerida por Raynund Werle (2005) é possível construir um modelo conceptual de análise institucional à inovação aplicado ao setor da nanotecnologia europeia, através da análise das redes de I&D formadas pelos projetos do 7ºPQ-NMP.

No esforço de compreender estas redes de colaboração de I&D para o desenvolvimento da nanotecnologia, foi aplicada a metodologia de Análise de Redes Sociais (ARS), consolidada em várias áreas de investigação académica. Por exemplo, na sociologia, a ARS contribui para entender os fenómenos relacionais entre vários atores quer coletivos ou individuais. Na economia, são diversos os contributos da ARS, nomeadamente para as teorias evolucionistas e em particular, para a compreensão dos fenómenos associados às redes de difusão de inovação. No estudo das políticas públicas, a ARS pode contribuir para a avaliação da implementação dessas políticas, nomeadamente as políticas de ciência e inovação como os Programas-Quadro europeus.

---

<sup>1</sup> i.e., neo-institucionalismo do inglês “new institutionalism”.

Esta investigação tem como objeto de estudo as redes de inovação formadas pelos projetos do 7º Programa-Quadro para a nanotecnologia nos países da União Europeia. Ao estudar as dinâmicas institucionais que influenciam a formação destas redes, podemos avaliar os fatores que otimizam a implementação das políticas públicas europeias e dos Estados-membros.

Esta investigação tem o objetivo de contribuir para a compreensão dos fenómenos institucionais, bem como as políticas públicas, inerentes ao desenvolvimento de tecnologias emergentes. Para desenvolver um modelo concetual sobre a formação de redes de inovação em nanotecnologia será necessário:

1. Analisar as políticas de Ciência e Inovação no desenvolvimento da nanotecnologia na Europa
2. Enquadrar as políticas públicas, no campo dos sistemas de inovação e institucionalismo.
3. Identificar os fatores determinantes para o desenvolvimento de redes de inovação

Com o advento da sociedade do conhecimento, nos quais os processos de decisão e de desenvolvimento económico se baseiam na ciência e tecnologia, o estudo das tecnologias emergentes como a nanotecnologia é pertinente. Compreender como as políticas científicas e tecnológicas são implementadas, e estudar os seus efeitos no desenvolvimento das sociedades, são critérios fundamentais para o posicionamento geoestratégico de qualquer região ou nação. Ao colocar as políticas públicas em plano de fundo esta investigação poderá contribuir para melhorar os processos de decisão política, nomeadamente ao nível da política científica e de inovação.

Esta tese está organizada em oito capítulos, que pretendem explicar a criação e desenvolvimento de redes europeias de I&D no setor da nanotecnologia. O segundo capítulo, abordará as principais teorias que suportam esta tese e está dividido em duas secções: uma abordagem sistémica à inovação, com forte contributo das teorias económicas e outra secção que introduz as teorias do institucionalismo e o seu contributo para entender os regimes institucionais em que a inovação se desenvolve na qual se pretende apresentar uma abordagem singular do institucionalismo aos sistemas de inovação.

O terceiro capítulo, sugere uma resenha histórica do desenvolvimento do Espaço Europeu de Investigação, em particular, a evolução das políticas públicas para as nanociências e nanotecnologias. Este capítulo aporta os três períodos de mudança institucional nas políticas científicas e tecnológicas na Europa.

O quarto capítulo, consiste na introdução do conceito de tecnologias emergentes e enquadra a nanotecnologia como um setor emergente nas políticas públicas europeias.

O quinto capítulo apresenta diversos contributos para compreender a teoria das redes e serão expostos diversos conceitos fundamentais e avançados da Análise de Redes Sociais (ARS). Serão abordadas metodologias de ARS que permitem estabelecer uma interpretação coerente das redes inovação no quadro institucional.

O sexto capítulo consiste na construção de um modelo concetual que reflete o enquadramento teórico e sugere a questão inicial de investigação, através de uma série de hipóteses plausíveis de serem corroboradas por uma metodologia quantitativa de análise de redes durante a fase empírica da investigação.

O sétimo capítulo apresenta os resultados da análise de dados da rede de I&D do 7º PQ-NMP. Com recurso a técnicas computacionais de análise multivariada de redes, a amostra é descrita nas suas estatísticas mais relevantes e o modelo proposto anteriormente é exposto e estatisticamente esmiuçado nas suas componentes mais significativas, contribuindo para a compreensão do fenómeno de colaboração destas redes de inovação.

O oitavo e último capítulo pretende a jusante realçar os aspetos mais relevantes da tese e das conclusões sobre os resultados analisados. Faz-se aqui uma breve revisão dos aspetos institucionais relevantes na formação do Espaço Europeu de Investigação e dos marcos históricos mais importantes da política científica para a nanotecnologia. Apresenta-se também os resultados do modelo e da metodologia, enquadrados com a fundamentação teórica sugerida, bem como os desafios e oportunidades desta investigação.

A investigação aqui proposta é o resultado da perseverança do seu proponente, para descobrir o sentido da formação de redes de inovação. No passado, o mesmo analisou as redes de inovação das instituições portuguesas no 7º Programa-Quadro para a nanotecnologia e identificou que determinados *players* desta rede eram peças fundamentais para a estrutura da própria rede e determinados países tinham um papel preponderante na formação de redes de inovação. Sendo assim, pretende-se com esta investigação ir mais longe na análise das redes, incluindo todos os

projetos do 7º PQ-NMP e por consequência todos os participantes do ecossistema de inovação em nanotecnologia na Europa.

## CAPÍTULO 2 - ABORDAGENS TEÓRICAS À INOVAÇÃO EM SETORES EMERGENTES

Este capítulo pretende introduzir as principais reflexões teóricas sobre a institucionalização da inovação. Inicialmente serão apresentadas duas abordagens diferentes ao fenómeno do processo de inovação: Por um lado, a abordagem sistémica da inovação, desenvolvida sobretudo pela teoria económica, que serviu de guia durante as últimas décadas às políticas de inovação nos países mais desenvolvidos. Por outro, uma abordagem institucional da inovação assente nas mais recentes teorias institucionalistas, reconhecidas como elemento fundamental das políticas públicas europeias. Estas duas visões complementares da inovação culminam num modelo teórico institucional dos sistemas de inovação. Este modelo institucional será utilizado na construção de uma metodologia as redes de inovação em setores emergentes como a da nanotecnologia.

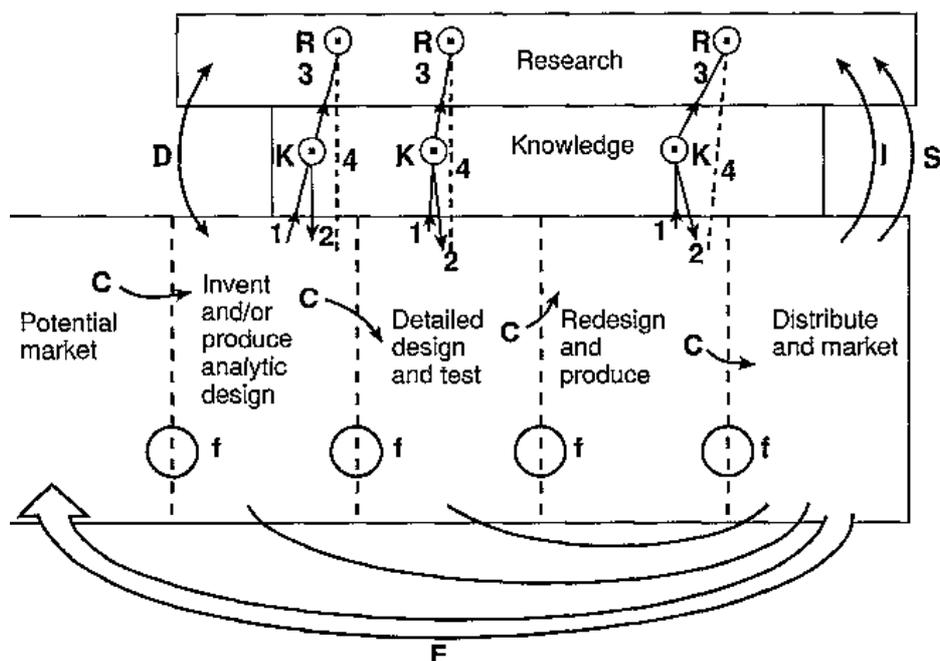
### 2.1. Abordagem sistémica à inovação

Durante as décadas de 50 a 80, os processos de inovação eram vistos como a relação dicotómica entre o mercado e a ciência. Se, por um lado, a inovação pode ser estimulada pela procura dos agentes socioeconómicos do mercado (i.e. *market-pull*), uma abordagem criticada por Mowery e Rosemberg (1979), que evidenciam o papel do conhecimento científico na limitação da procura tecnológica, por outro, a inovação pode surgir no processo científico e ser “empurrada” para o mercado (i.e. *science-push*), associada a uma visão linear do processo de inovação.

O modelo linear da inovação consiste em caracterizar a inovação como um processo de estágios, desde a atividade da descoberta científica até à disseminação dos produtos tecnológicos no mercado (Godinho, in Rodrigues, 2003). Estimulada por Freeman (1979), a abordagem linear foi abandonada nos anos 70 e substituída pela abordagem de interação, na qual a inovação surge da combinação dos fatores *market-pull* e *science-push*.

Kline e Rosember (1986), recuperam esta ideia de interação entre a ciência e o mercado, e sugeriram um modelo de interações em cadeia (i.e. *chain-linked model*), no qual o processo de inovação é uma evolução dinâmica de *feedback* entre os vários estágios do processo linear, conjugado com interações entre a ciência e o mercado, Figura 2.1 .

Figura 2.1 - Modelo de interações em cadeia de Kline e Rosenberg

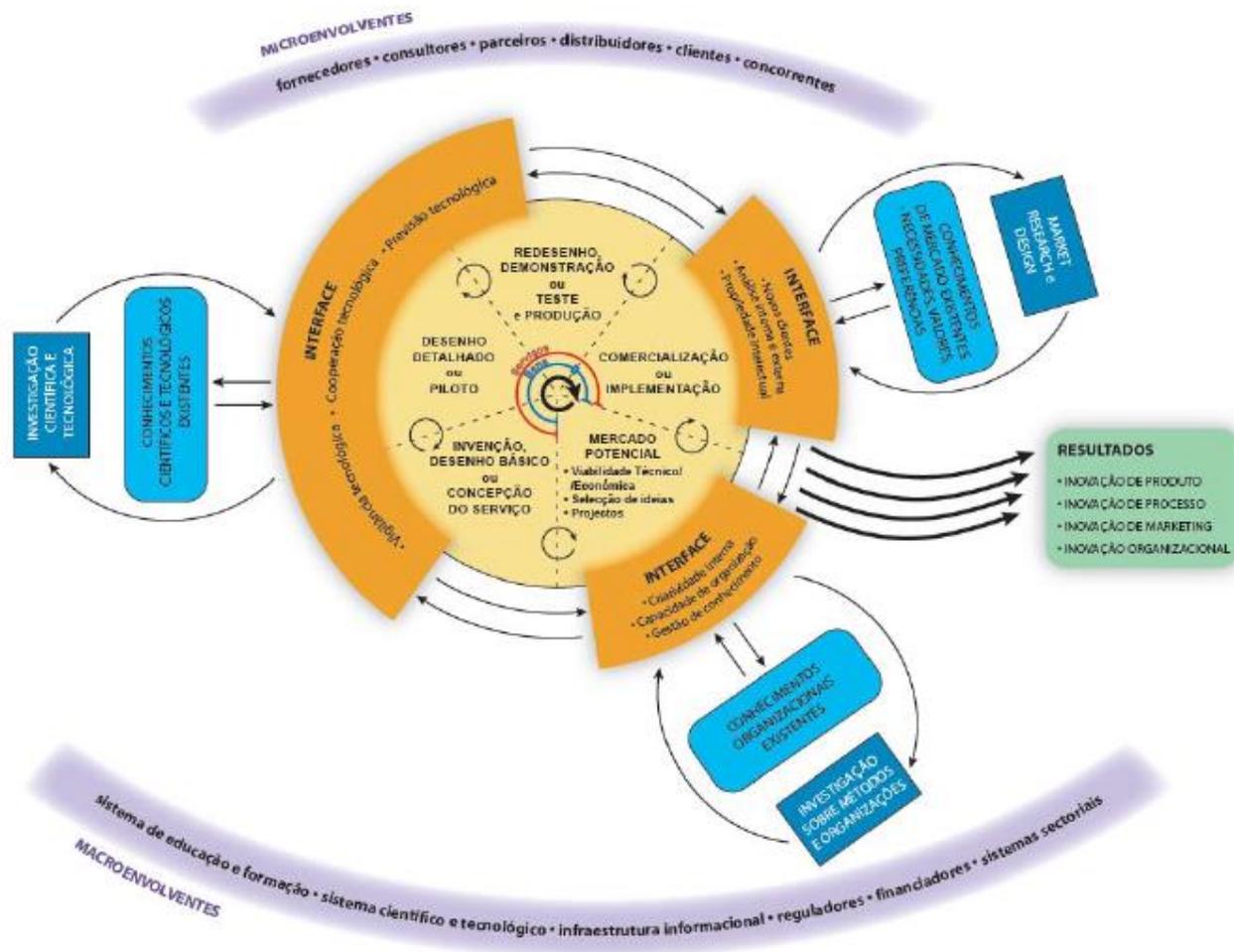


Fonte: “Chain-linked model” , Kline e Rosenberg (1986)

Os modelos anteriores estão limitados à observação do processo de inovação dentro das empresas, entre as atividades Investigação e Desenvolvimento a montante e o marketing ou distribuição a jusante. No entanto, estes modelos subestimam a realidade socioeconómica, nomeadamente os fatores externos que influenciam o processo de inovação (Godinho *et al.*, 2003).

Recentemente surgiu uma adaptação do modelo de interações de Kline e Rosenberg foi desenvolvido por investigadores portugueses com o objetivo de proporcionar as empresas e organizações com um modelo gestão da inovação (Caraça, Ferreira, & Mendonça, 2006) . Este modelo concetual, contempla a interação entre o conhecimento científico e tecnológico, o mercado envolvente e a própria organização, resultando na introdução de produtos e serviços inovadores no mercado, ver figura 2.2.

Figura 2.2 - Modelo de interações em cadeia



Fonte: COTEC, (Caraça et al., 2006).

Dois aspetos relevantes do modelo são a interação cíclica entre a organização inovadora e a sua envolvente, ou seja, o conjunto de atores e instituições que interagem com a organização no processo de inovação. Estes atores podem ser classificados, segundo os autores, pelo seguinte modo:

- **Macro envolventes:** conjunto de fatores sistémicos que influenciam indiretamente a gestão da inovação da organização. São estes: o sistema de educação e formação, o sistema científico e tecnológico, a infraestrutura informacional, os reguladores, os financiadores e os sistemas sectoriais.
- **Micro envolventes:** são os atores socioeconómicos que interagem diretamente com o processo de inovação da organização; por exemplo, os fornecedores, consultores, parceiros, distribuidores, clientes e também os concorrentes.

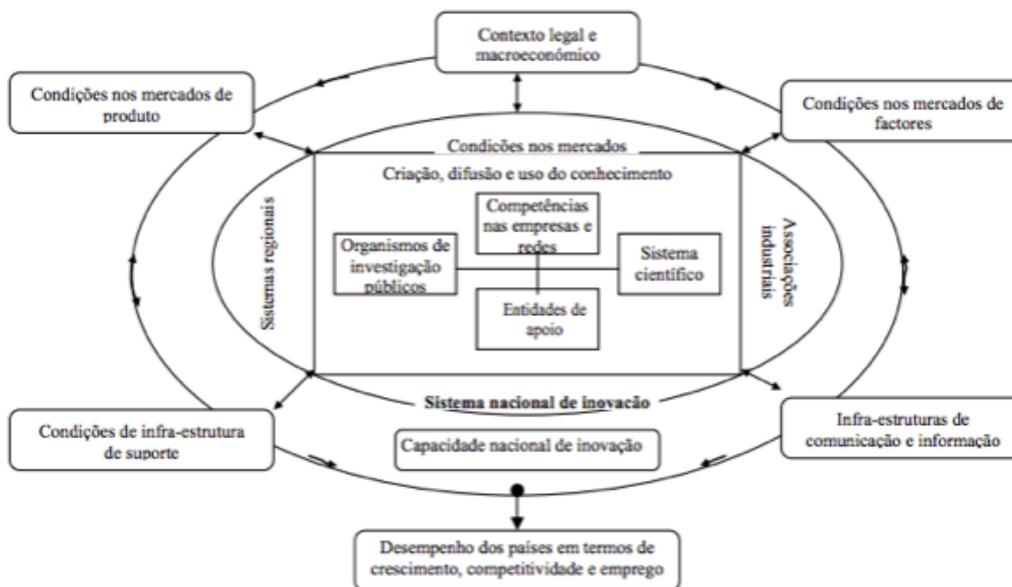
Vivemos numa sociedade em que o conhecimento é um produto da dinâmica relacional entre o progresso científico e tecnológico e o desenvolvimento socioeconómico. É a “sociedade em rede” de Castells (2003), na qual todos os agentes económicos, políticos e sociais estão interligados numa teia de relações assente numa estrutura tecnológica, com o objetivo de criar produtos e serviços de alto valor, social e económico.

Estas interligações formam ecossistemas onde todos contribuem com o seu conhecimento e experiência, onde a ciência e tecnologia se encontram com as empresas e com a economia real, onde os decisores políticos, maestros da regulação social e económica são elementos fundamentais na construção e desenvolvimento dos sistemas de inovação.

O conceito de sistemas de inovação surgiu no final dos anos 80, com a abordagem dos estudos de ciência, tecnologia e inovação (CTI) e a sua disseminação por via da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE). Vários economistas, entre os quais se destacam Christopher Freeman (1987), Richard Nelson (1993) e Bengt-Ake Lundvall (2010), contribuíram para o desenvolvimento de um quadro teórico sobre os sistemas de inovação. A OCDE, pela sua natureza supranacional, contribuiu para a construção de uma convenção teórico-prática global e na criação dos sistemas nacionais de inovação.

A abordagem sistémica à inovação tem como objetivo a análise das relações entre quem produz e utiliza a inovação, centrando a empresa como ator principal, repleta de interdependências, mais ou menos complexas, com a sua envolvente socioeconómica. Godinho (2003) sugere que a análise da inovação deve ser abrangente, incluindo as organizações institucionais, o património cultural e histórico dos países ou regiões onde a inovação é produzida e disseminada (ver figura 2.3). Esta abordagem metodológica à inovação deu os seus primeiros passos durante os anos 90 e hoje é utilizada na análise aos processos de inovação elaborados pela OCDE (1999, 2002, 2015a).

Figura 2.3 - Modelo de interdependências de Godinho



Fonte: Godinho (2003)

### *Sistemas Nacionais de Inovação*

Segundo Christopher Freeman (1987), a produtividade dos indivíduos está associada ao nível dos seus rendimentos, dos processos contínuos e de transformações técnicas e organizacionais, que por sua vez surgem da introdução de novos e melhorados produtos no mercado (i.e. inovações). Estas mudanças tecnológicas introduzem uma dinâmica complexa entre a aquisição e difusão de conhecimento nos sistemas nacionais de inovação.

Ao colocar o conhecimento científico e tecnológico como fonte do progresso económico, o conceito de aprendizagem é fundamental no desenvolvimento dos sistemas de inovação. Para o economista evolucionista Lundvall (2010), a aprendizagem é um processo de interativo e social que depende do contexto institucional e cultural dos sistemas. Num ambiente de globalização das economias, os países são obrigados a criarem sistemas nacionais de inovação para competirem na criação de novos conhecimentos.

A inovação pode também ser interpretada de uma forma mais minuciosa, indo ao encontro dos agentes económicos que fazem parte dos sistemas de inovação. Segundo Richard Nelson

(1993), a inovação é um processo de transformação de design e industrialização de produtos, no qual as empresas colocam no mercado novos produtos e conseqüentemente vão melhorando o seu desempenho económico. Refere ainda que as instituições de I&D, engenheiros e cientistas, ao associarem-se às empresas, universidades e instituições governamentais, constituem o veículo preferencial para os avanços tecnológicos em diversos campos científicos. Henry Etzkowitz (2008) aponta três grandes estruturas interligadas numa espécie de hélice tripla de ADN nos sistemas nacionais de inovação: as Universidades, as Indústrias; e Governo.

Para Lundvall (2010), os sistemas nacionais de inovação estão restritos geograficamente pelas fronteiras dos países e são constituídos por uma rede de colaboração de indivíduos e instituições, que interagem entre si para produzir e difundir um novo uso de conhecimento economicamente útil. Tal como Freeman, Lundvall afirma que este conhecimento de alto valor económico é criado e distribuído por meio de um processo de aprendizagem contínua. O processo de difusão de conhecimento não é passível de cópia ou aceitação incondicional, mas sim um processo de aprender fazendo e aprender utilizando, melhorando produtos e processos (Freeman, 1987).

A transformação de conhecimento em novos produtos e processos (i.e. inovação) não segue uma via linear da investigação científica e tecnológica à aplicação, tal como a visão clássica de inovação Schumpeteriana, na qual o novo conhecimento é produzido numa cadeia linear de valor. Schumpeter (1951) distingue as fases de invenção, inovação e difusão, como uma sequência lógica para produzir nos produtos e processos. A inovação, neste contexto, assume três tipos de valência: a inovação de produto; de processo; e organizacional.

A inovação é então, um mecanismo de *feedback* e de interações que envolvem o conhecimento científico, tecnologia, processo de aprendizagem, produção, ação política e procura de mercado (Edquist, 1997). Para Richard Nelson (1993), a análise aos sistemas nacionais de inovação deve abranger todos os fatores que influenciam as capacidades inovadoras nacionais.

Um dos fatores reconhecido por Lundvall (2010) é o processo de globalização das economias nacionais, por via da internacionalização das instituições dos sistemas nacionais de inovação, como as multinacionais que procuram novos mercados (i.e. novos sistemas nacionais de inovação) para aquisição de conhecimento e difusão da inovação. Outro fator, preponderante na análise dos sistemas nacionais de inovação, é a função das políticas científicas dos governos

nacionais. Lundvall (2010) apresenta três dimensões da ação política: a política pública deve estar enquadrada no contexto sistémico do ambiente em que atua; é necessário compreender o fenómeno da globalização dos sistemas nacionais de inovação; e os sistemas nacionais de inovação devem ter a capacidade de adaptação aos novos paradigmas técnico-económicos.

Apesar da globalização, a história revela que a adaptação aos novos paradigmas tecnológicos pelos sistemas nacionais de inovação não é uniforme. No caso do Japão, durante a década de 50 e 60 era caracterizado por ter uma economia pequena e isolada geograficamente por mar; contudo, conseguiu desenvolver um sistema nacional de inovação a partir da adoção de práticas combinatórias de importação de tecnologia e de desenvolvimento local. Como revela Freeman (1987), o desenvolvimento dos sistemas de inovação de uma nação, dependem essencialmente, da forma como os recursos são organizados ao nível nacional e das instituições.

A organização dos recursos científicos e tecnológicos forma diversas geometrias mais ou menos complexas de sistemas de inovação. Estes sistemas, como descrito anteriormente, podem ser analisados ao nível das nações, numa visão mais abrangente, onde estão representados todos os sectores científicos e tecnológicos e permitindo uma comparação supranacional. Contudo, a especialização competitiva entre os sistemas de inovação, leva-nos a olhar para formatos mais particulares da organização da inovação. Surgem então, os sistemas regionais e sectoriais da inovação, caracterizados por regiões geográficas e *clusters* tecnológicos, ou os sistemas tecnológicos de inovação, que sugerem uma análise especializada a um determinado campo científico e tecnológico.

### *Sistemas Regionais e Sectoriais de Inovação*

Os sistemas nacionais de inovação são um veículo para a competitividade das nações, onde os atores dessa inovação trocam entre si conhecimento útil para a criação de novos produtos e processos. Esta apropriação de conhecimento permite aos vários participantes adquirirem capacidades e competências únicas, para criar produtos de alta tecnologia e de valor acrescentado. O conhecimento tácito é elemento fundamental para projecção de espaços geográficos da atividade de inovação (Asheim & Gertler, 2009).

Estes espaços de inovação estruturados em regiões ou sectores são delimitados pela dinâmica do conhecimento em duas dimensões: pela sua complexidade, colocando desafios na sua transmissão; e pelo próprio processo de inovação, baseado em redes de relacionamento entre atores

como universidades, empresas e instituições governamentais. Estes determinantes de proximidade entre os atores sociais e institucionais formam tipologias heterogêneas de inovação (Asheim & Gertler, 2006).

Os sistemas regionais de inovação têm a premissa de focarem a sua atividade nas infraestruturas e relacionamentos dos atores económicos e sociais da rede de inovação e dos processos de governação de uma determinada região do sistema nacional de inovação (Asheim & Gertler, 2006). Freeman (1987), por exemplo, partiu de uma visão geográfica e analisou o sistema de inovação do Japão, comparando-o com outras regiões do globo. Os *clusters* e parques tecnológicos são também fruto de uma visão regional dos sistemas de inovação.

Para lá da visão regional, os sistemas de inovação podem ser delimitados na perspetiva sectorial e são alvo de interpretações por vários autores (Brecht, Malerba, Schumpeterian, Edquist, & McKelvey, 2000; Malerba, 2002; Malerba, In, & Fagerberg, 2006). Neste âmbito, surge uma visão sectorial baseada em redes de inovação onde os atores sociais e institucionais são reorganizados em volta de uma tecnologia predominante, como o sector farmacêutico (p.e. biotecnologia), as Telecomunicações (p.e. Tecnologias de Informação e comunicação).

Nestes sistemas de inovação, o objetivo social e económico dos atores é satisfazer a procura de um determinado produto ou serviço baseado numa determinada tecnologia (Malerba et al., 2006). O sistema de inovação sectorial é caracterizado pela existência de produtos e processos de aprendizagem, pelo domínio de conhecimento, tecnologia e mecanismos de interação entre empresas, organizações e instituições num processo de competição e seleção (Malerba, 2002).

A visão sectorial dos sistemas de inovação mantém as características fundamentais das visões nacionais e regionais, com a particularidade da aprendizagem e o fluxo de conhecimento entre os diversos atores do sistema serem analisados de forma dinâmica e geográfica. Estes atores socioeconómicos são caracterizados por terem processos de aprendizagem, crenças, competências e estruturas organizacionais que interagem por processos de comunicação, cooperação e trocas, regulados por regras e procedimentos legais que co evoluem ao longo do tempo (Malerba, 2002; Malerba et al., 2006).

## *Sistemas Tecnológicos de Inovação*

Uma visão mais restrita dos sistemas de inovação é a abordagem centrada na tecnologia, em vez da geográfica ou da sectorial. Bo Carlsson (1997) refere que os sistemas tecnológicos de inovação são diferentes dos sectoriais porque estes são definidos pela tecnologia em vez da indústria, e são também diferentes dos sistemas nacionais, porque os sistemas tecnológicos não estão delimitados pelas fronteiras nacionais.

Esta abordagem pode ser aplicada ao nível local ou regional independentemente do tipo de mercado que está sujeita, e assenta numa perspetiva temporal da tecnologia, do número de atores, das instituições e suas relações ao longo do tempo. O autor apresenta quatro princípios base que caracterizam os Sistemas Tecnológicos de Inovação (Carlsson, 1997):

Os sistemas têm de ser observados como um todo e o foco está nas relações entre os elementos do sistema, que tem o objetivo de capturar, difundir e melhorar as externalidades criadas pelos processos de inovação.

Os sistemas tecnológicos têm uma característica dinâmica e as relações entre os diversos elementos evoluem ao longo do tempo.

É impossível identificar as imensas oportunidades tecnológicas que os sistemas produzem.

Existem limites à capacidade de processar conhecimento e informação, pois as competências dos diversos elementos dos sistemas são diferentes, pouco estáveis e com percursos diferentes.

Estes elementos de caracterização dos sistemas tecnológicos de inovação promovem a construção de redes de diferentes atores sociais, económicos e institucionais, nas quais o conhecimento é difundido, com maior ou menor eficiência, entre os participantes. Bo Carlson (1997) identifica três tipos de redes de relacionamento envolvidas nesta abordagem sistémica da inovação:

- As relações de fornecedor-comprador (*input/output*) assentam essencialmente nas transações entre ambos;
- As redes de soluções de problemas técnico-científicos são responsáveis pela delimitação da própria rede;
- As redes informais entre os atores do sistema que surge pela interação em conferências, encontros científicos ou publicações.

A abordagem sistémica à inovação conduz-nos, por um lado, a uma visão nacional da inovação (i.e. visão macro), caracterizada por uma perspetiva, muito transversal ao sistema, que propõe identificar e classificar os elementos constituintes desse sistema (Edquist, 1997; Freeman, 1987; Lundvall, 2010; Nelson, 1993), por outro, se aprofundarmos a análise (i.e. visão meso), surgem interpretações dos sistemas de inovação ao nível regional e sectorial, onde os sectores industriais operam em diferentes regimes tecnológicos, providos de combinações entre oportunidades e condições particulares, caracterizados por diferentes graus de acumulação de conhecimento tecnológico (Brecht *et al.*, 2000; Malerba, 2002; Malerba *et al.*, 2006).

Um foco pormenorizado desta abordagem coloca os sistemas tecnológicos (visão micro) no centro da análise sistémica, procurando reagrupar os atores sociais, económicos e institucionais à volta de uma determinada tecnologia (Carlsson, 1997). Pode-se afirmar que o nível de observação do sistema nacional de inovação permite apresentar perspetivas diferentes do próprio sistema de inovação (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000).

Em suma, os sistemas de inovação são fundamentais no crescimento económico das nações, mas como afirma o economista, “*para compreender os sistemas nacionais de inovação temos que compreender como acontecem os avanços tecnológicos e quais os principais processos e instituições envolvidas*” (Nelson, 1993)

Em suma, a abordagem sistémica aos sistemas de inovação permite-nos identificar um conjunto de atores socioeconómicos (p.e. empresas, instituições governamentais, universidades, centros de investigação), que na coerência de otimização dos recursos existentes, formam redes de colaboração de I&D, com o objetivo de produzir inovação. Neste processo são produzidas externalidades económicas e sociais para os sistemas de inovação nacionais, que projetam o desenvolvimento de países e bem-estar das suas populações.

No entanto, a abordagem sistémica analisa e avalia as interdependências entre várias partes de um sistema. E no caso dos sistemas de inovação, as partes envolvem-se de forma complexa e dinâmica, nem sempre bem interpretadas à luz desta abordagem. Ao questionarmos as razões dos atores dos sistemas de inovação colaborarem entre si, não podemos assumir que estes formam redes de inovação com o objetivo primordial de captar riqueza económica. Assumindo esta premissa, é

pertinente, neste momento, introduzir uma perspetiva institucionalista à inovação, em particular à inovação no setor da nanotecnologia.

## 2.2. Abordagem institucional à inovação

Nesta seção pretende-se enquadrar a inovação numa perspetiva institucionalista com o objetivo de proporcionar uma interpretação coerente para o fenómeno de formação de redes de inovação. Como referido anteriormente, fatores institucionais como a introdução de políticas públicas para a ciência e inovação, quer a nível nacional e supranacional, incentivam a formação de redes de colaboração nos sistemas de inovação nacionais. Nesta seção teórica, a perspetiva teórica do neo-institucionalismo, contribuirá para enquadrar a inovação como fenómeno institucional. Esta secção consiste numa fase transitória para, definir mais tarde a abordagem institucional aos sistemas de inovação, que apraz ser a base para a construção do modelo conceptual desta tese.

### *O Institucionalismo e a mudança institucional*

Antes de abordar o papel do institucionalismo nos sistemas de inovação é necessário definir o conceito de institucionalismo e seus corolários. A teoria neste campo de estudo concebe às instituições uma coleção de regras e práticas organizadas, embebidas em estruturas sociais, económicas, políticas e culturais, preenchidas por significados e recursos que variam pouco face às expectativas dos agentes que as constituem (Binder, Rhodes, & Rockman, 2008; Jerald Hage & Meeus, 2009).

A União Europeia é sem dúvida a estrutura organizacional internacional mais densa em formas institucionais, com regras e práticas intergovernamentais e supranacionais, que definem a ação dos diversos agentes políticos e económicos, como também dos próprios cidadãos europeus. Podemos encontrar neste manancial institucional um conjunto de regras de não-mercado, definidas por leis ou normas de coordenação (P A Hall & Soskice, 2001; Hix & Høyland, 2011; Hollingsworth, 1997; Hollingsworth & Hollingsworth, 2000; Molina & Rhodes, 2007).

Uma destas formas institucionais de coordenação é o resultado das redes interorganizacionais, associadas aos Programas-Quadro de Ciência Tecnologia referidos anteriormente, influenciando definitivamente as estruturas dos sistemas de inovação dos estados-membros, em particular na transferência de conhecimento, nas cadeias de valor da inovação (Hage & Hollingsworth, 2000).

As instituições, na sua gênese, podem não só capacitar os agentes com poder de transformação, como também restringir a sua ação estratégica nos sistemas socioeconômicos em que atuam (North, 1990). As instituições podem ainda sofrer diversas influências de fatores externos aos sistemas, com o objetivo de reforçar as regras e sancionar as práticas irregulares (Binder *et al.*, 2008). Pode-se encontrar nos Programas-Quadro regras bem definidas, como por exemplo a constituição de projetos com o mínimo de três participantes de estados-membros diferentes ou a restrição a determinados tipos de organizações.

A introdução de políticas públicas europeias nos sistemas de inovação nacionais provoca determinadas dinâmicas interorganizacionais nos sistemas, que influenciam a forma como as organizações do sistema científico nacional se relacionam entre si, para desenvolverem as suas atividades inovadoras. A análise institucional poderá enquadrar essas políticas nos sistemas nacionais de inovação e permitir retirar ilações sobre essas relações institucionais.

O novo-institucionalismo<sup>5</sup> ou neo-institucionalismo, é uma corrente de pensamento político multidimensional, desenvolvida inicialmente por March & Olsen (1983, 2006), que foca análise na compreensão das normas institucionais e como estas influenciam o comportamento dos atores sociais.

Para Guy Peters (2011) o “antigo” institucionalismo é muito descritivo e pragmático na forma como observa a envolvente política e institucional (i.e. “legalismo”; “estruturalismo”; “holismo”; fundamentos históricos; análise normativa) (pp. 6–11). Para o autor o novo-institucionalismo, é suportado pelas teorias comportamentais e de escolha racional de March e Olsen (1983), no qual o comportamento dos atores sociais é dinâmico e surge em diversas formas institucionais (i.e. normativa; escolha racional; histórica; empírica; internacional; societal).

Peter Hall e Rosemary Taylor (1996), abordam o novo-institucionalismo, contemplando três métodos de análise: o institucionalismo histórico, institucionalismo da escolha racional e o institucionalismo sociológico. Estas abordagens metodológicas, que serão elaboradas em baixo, diferem no modo de explicação das opções, comportamentos e origens dos processos de mudança das instituições (Barzelay & Gallego, 2006). Por isso, será importante compreender as partes que contemplam esta abordagem teórica, e o seu contributo para enquadrar o institucionalismo nos estudos da inovação.

---

<sup>5</sup> Do inglês new-institutionalism ou neo-institutionalism

O institucionalismo histórico procura encontrar explicações para a mudança institucional, por via de longas sequências históricas, identificando os momentos decisivos onde estas mudanças ocorrem e quais os seus principais protagonistas (Pierson & Skocpol, 2002). Para o economista Douglass North (1990), a mudança institucional é um processo de *path-dependence*<sup>6</sup>, no qual estes eventos decisivos e mudanças circunstanciais podem determinar um certo caminho para instituições. A mudança institucional ocorre numa sintonia entre a ordem, refletida no percurso institucional e a mudança criada por conjecturas críticas externas às instituições (Rezende, 2012).

Para Hollingsworth (2006) “*path-dependence*” é um processo multinível (p.e. níveis institucional, organizacional, departamental) e influenciado pelo ambiente e contexto institucional. O ambiente institucional providencia não só recursos que influenciam o comportamento dos atores, mas também a forma como estes recursos são alocados nas organizações e restringem o próprio contexto institucional e o desenho das relações entre estes atores.

No setor da inovação, estas restrições institucionais têm impactos na alocação dos recursos humanos (p.e. cientistas e investigadores), na definição das disciplinas científicas abordadas nas organizações de I&D, no nível de financiamento das organizações de I&D e no tipo de formação necessária nas organizações de I&D (Hollingsworth, 2006). Estes fatores são um reflexo dos níveis de institucionalização das sociedades onde os sistemas de ciência e inovação são desenvolvidos.

Nas sociedades fortemente institucionalizadas, existe menor flexibilidade nas estruturas e comportamentos das organizações de I&D, influenciando as suas relações com o ambiente institucional, nomeadamente na condução de estratégias e objetivos independentes. Em oposto, em sociedades com fraco nível institucional, e conseqüentemente menor constrangimentos, as organizações geralmente apresentam maior autonomia e flexibilidade para produzir conhecimento e inovação (idem).

O institucionalismo da escolha racional procura dar resposta às estratégias seguidas pelas diversas instituições, como estas se organizam e que tipo de influências exercem nas interações entre si (Ostrom, 2007; Sabatier, 1991). Para muitos autores, a mudança institucional é um processo de escolha coletiva centralizado, no qual as regras são determinadas por uma instituição coletiva,

---

<sup>6</sup> Trajetória dependente

como o Estado, que enfrenta ações, conflitos e negociações, por parte de indivíduos e organizações com o objetivo de alterar essas regras (Kingston & Caballero, 2009).

Para North (1990), o institucionalismo é um campo de jogos económico-sociais nos quais um conjunto de atores e seus comportamentos (i.e. estratégias), definem as escolhas que perpetuam, com base na informação que possuem e que difundem, pelo ambiente institucional. As instituições, formadas pelos próprios atores, são as regras desse jogo e moldam a forma como os sistemas institucionais evoluem.

A escolha racional revela-se na vontade ou não de cada ator se envolver com os restantes, no desenho institucional, segundo padrões e procedimentos. Estes arranjos institucionais são convergentes e induzem coordenação entre os atores (Binder *et al.*, 2008). Jerald Hage e Marius Meeus (2009) referem que os arranjos institucionais diferem consoante o seu modo de coordenação de mercado, de acordo com as tipologias de mercado definidas por Hall e Soskie (2001): as “economias de mercado liberal” (EML) ou “economias de mercado coordenado” (EMC)<sup>7</sup>.

Os autores (Hage & Meeus, 2009) vão mais além e definem um nível macro institucional, no qual agregam as teorias institucionais das Variedades de Capitalismo, Sistemas Empresariais e Sistemas Sociais de Produção, que evidenciam as diferenças dos arranjos institucionais entre os países, providenciando um modelo comparativo de análise das mudanças institucionais (ver Quadro 2.1). Das suas observações, concluem que as mudanças institucionais (i.e. mudança no modo de arranjo institucional) ocorrem com maior frequência nas EML (p.e. Reino Unido) do que nas EMC (p.e. Alemanha).

---

<sup>7</sup> A teoria das Variedades de Capitalismo de Hall e Soskie, serão abordadas na seção seguinte deste capítulo.

Quadro 2.1 - Arranjos Institucionais segundo a intervenção de mercado

	<b>Hierarquias empresariais</b>	<b>Hierarquias suportadas pelo Estado</b>	<b>Hierarquias suportadas por associativismo</b>	<b>Hierarquias suportadas por interorganizacionais</b>
<b>Países</b>	Reino Unido; EUA; Itália; Canadá; e Austrália	França e Coreia do Sul	Alemanha; Áustria; Holanda e Suécia	Japão
<b>Envolvimento do Estado</b>	Baixo	Médio	Baixo	Médio
<b>Orientação coletiva dos atores</b>	Reduzida	Reduzida	Média	Média

Fonte: adaptado (Jerald Hage & Meeus, 2009)

Os atores racionais tomam as suas decisões baseadas nas políticas públicas que maximizem os seus interesses e objetivos. É de esperar que em determinados países sejam adotadas políticas públicas que refletem as configurações de relacionamento institucional existente entre os seus atores socioeconómicos. A existência de um envolvimento estatal mais acentuado em determinados sistemas nacionais de inovação torna-se inequívoca na presença de organismos públicos em redes de inovação.

Por fim, o institucionalismo sociológico incide a sua leitura nos procedimentos e práticas institucionais e como estes são difundidos no mercado (Hall & Taylor, 1996). Nesta abordagem, as instituições procuram entender a relação dicotómica entre a instituição e a cultura adjacente. A cultura é neste caso um elemento fundamental na formação das preferências e identidades dos atores institucionais.

Para DiMaggio e Powell (1983), estas preferências são sujeitas a um processo de mimetização, no qual as instituições de uma determinada cultura institucional tendem a copiar e adotar os mesmos arranjos organizacionais (p.e. mudanças institucionais). A este fenómeno os autores designam de isomorfismo institucional. Determinam ainda, que é necessário explorar a

natureza complexa da dinâmica do ambiente organizacional, para compreender o isomorfismo institucional.

Outros autores (Gorges, 2002) criticam o novo institucionalismo e as suas três perspetivas de análise, por não responder convenientemente à mudança institucional. Para esta visão discordante, o novo institucionalismo é baseado na análise de resultados socioeconómicos e políticos que são insuficientes para a análise sistémica da mudança institucional. Referem que para uma rigorosa análise institucional comparativa é importante desenvolver uma perspetiva da mudança institucional passível de ser aplicada em casos similares em vários países, sectores ou tempo.

De fato avaliar a mudança institucional nas três dimensões estruturantes do novo-institucionalismo seria redutora, face a complexidade do conceito e às diferenças culturais, sociais e institucionais dos diversos países. Outras dimensões, como os efeitos demográficos ou mesmo a abordagem da psicologia social, poderiam dar uma resposta mais completa ao fenómeno da mudança institucional (Bergh & Stagl, 2003). Contudo, para a análise que propomos fazer nesta tese, esta abordagem ao novo institucionalismo contempla os conceitos mais importantes para compreender o fenómeno da inovação.

A abordagem institucional, em particular o novo-institucionalismo, define um quadro de análise complementar aos sistemas de inovação. A observação das dinâmicas institucionais, podem contribuir para interpretar a formação de redes sociotécnicas induzidas pelas políticas públicas para desenvolvimento de tecnologias emergentes.

### *Abordagem Institucionalista aos sistemas de inovação*

Esta seção pretende fazer o exercício de encontrar um modelo que agregue os sistemas de inovação na perspetiva do institucionalismo, serão discutidos algumas abordagens teóricas utilizadas em estudos de inovação.

Com o objetivo de encontrar uma quadro de análise de integração dos sistemas de inovação na perspetiva institucionalista, esta seção abordará as teorias das Variedades de Capitalismo (VdC) de Hall e Soskice (2001), nas quais a inovação é resultado do ambiente político-económico, caracterizado por cinco dimensões institucionais. É feito ainda uma reflexão sobre os estudos de Hollingsworth (2000) múltiplos níveis de análise institucional de nos quais pretende-se

compreender os designados arranjos institucionais e como estes podem influenciar o “estilo” de inovação nas sociedades. E por fim, será abordado a proposta teórica do modelo Institucional dos Sistemas de Inovação de Raymund Werle (2005), que permitirá desenvolver o enquadramento empírico desta investigação.

### Modelo de análise do institucionalismo de Peter Hall e David Soskice

A leitura institucional das VdC explicam parte do fenómeno que posiciona as instituições como agências de socialização, fontes de poder, sanções e incentivos, contudo para os autores esta leitura, não é suficiente e avançam para uma explicação mais lata, afirmando a necessidade de incluir as *interações estratégicas* como ponto central do comportamento da economia (Hall & Soskice, 2001). Desta forma, as empresas passam a ter um papel preponderante nesta nova abordagem, como uma intenção propositada dos autores em inovar ao conjugar os estudos de gestão e a economia política.

As empresas, como atores sociais da economia, procuram constantemente soluções para os seus desafios e problemas de coordenação ou de relacionamento com os restantes atores e instituições formais e informais. Segundo os autores (Hall & Soskice, 2001), as formas de coordenação de mercado podem ser caracterizadas por dois tipos: as Economias de Mercado Liberal (EML) e as Economias de Mercado Coordenadas (EMC).

Nas Economias de Mercado Liberal, os atores socioeconómicos coordenam as suas atividades por via das hierarquias e relações competitivas de mercado, como é exemplo os EUA. Por outro lado, nas Economias de Mercado Coordenadas, como é o caso da Alemanha, as empresas dependem das relações de não-mercado, onde procuram resolver os seus desafios e problemas em coordenação com os restantes atores e instituições.

Na abordagem descrita como “Variedades de Capitalismo” (2001), estes problemas de coordenação são solucionados em cinco esferas de relacionamento institucional: Relações industriais; Educação e formação vocacional; Governança empresarial; Relações interempresas; e Trabalhadores. Devido à importância desta abordagem as cinco esferas institucionais serão analisadas em mais detalhe.

Nas EMC as *relações industriais* entre as empresas são caracterizadas por um ambiente mais colaborativo e de negociação sectorial; são economias baseadas em indústria pesada (i.e.

química, automóvel) procurando inovações incrementais, muito diferentes das EML, onde as negociações se fazem ao nível empresarial com uma forte componente competitiva e suscetível a tecnologias radicais (Hancké, 2009). Na Alemanha, os desenvolvimentos no sector da biotecnologia são concertados entre indústrias e associações industriais e o sector está muito regulado, propício ao surgimento de *clusters* industriais. Por outro lado, nos EUA as relações neste sector fazem-se ao nível empresarial com concertações pontuais intraindustriais.

A Alemanha é um caso paradigmático das EMC, as relações entre os trabalhadores e patronato assentam no consenso, e os trabalhadores têm um poder que diminui a intervenção dos sindicatos na atividade laboral. No caso dos EUA, os trabalhadores vivem de forma mais fragmentada e competem entre si nas relações com o patronato. Nas EMC, o mercado laboral é caracterizado por ser mais regulado e muitos trabalhadores têm a expectativa de servir a mesma empresa durante muito tempo. Por outro lado, nas EML os trabalhadores atuam num mercado laboral, menos regulado e com elevados níveis de mobilidade (Cooke, 2007).

No que respeita à educação e formação dos recursos humanos existem diferenças distintas entre as EMC e EML (Hall & Soskice, 2001). No caso das EMC a formação da força de trabalho é especializada e existem fortes investimentos por parte das empresas na formação dos seus trabalhadores, pois estes permanecerão por muito tempo em funções na mesma empresa. Nas EML, a formação inicial dos trabalhadores é direcionada para um nível geral de competências e a elevada mobilidade de trabalhadores inibe as empresas de apostar em formação dos seus quadros.

Em mercados mais estáveis como o alemão, a *relação interempresas* do mesmo sector é facilitada pela capacidade de negociação e consenso entre fornecedores, trabalhadores e empresários. As relações entre fornecedores e empresas beneficiam do seu conhecimento sobre a cultura e práticas industriais, promovendo entendimentos a longo prazo (Cooke, 2007). No caso americano, as empresas optam pelos seus fornecedores mediante as suas necessidades imediatas.

O tecido empresarial e industrial alemão e americano também marcam profundas diferenças no que respeita à *governança* e *financiamento* das suas organizações (Cooke, 2007). Nas EMC as estruturas acionistas são muito estáveis e em muitos casos, os próprios financiadores pertencem ao “board” e administração das organizações, com capacidade de decisão. Nas EML, o financiamento das empresas é feito em grande parte por recurso à dispersão bolsista, o que se traduz numa estrutura acionista muito volátil, mas com elevado poder de veto.

Em suma, pode-se dizer que processos de industrialização diferentes resultam das opções do agente principal, o Estado, que consegue configurar as relações de poder entre os diversos atores e instituições, por via da opção de políticas públicas. Nas Economias de Mercado Coordenado, o Estado tem uma participação mais presente na atividade económica, sendo um ator institucional de relevância. Por outro lado, nas Economias de Mercado Liberal, o papel do Estado, centra-se na regulação e na manutenção das condições propícias para a atividade económica.

Contudo, nem só de extremos é feita a categorização institucional das VdC. Óscar Molina e Martin Rhodes (2007) estudaram os mecanismos de organização do mercado em Economias de Mercado Mistas (MMEs). Os autores identificaram que o papel dos Estados em países mediterrâneos como Espanha e Itália é preponderante, mas não único. Do estudo, sobressaem duas tendências características das MMEs: por um lado, o crescimento de uma espécie de “coordenação autónoma”, ou coordenação de não-mercado, entre atores socioeconómicos; por outro, processos emergentes de coordenação de mercado, designados por “colonização de mercado”.

A visão institucional proposta por Hall e Soskice (2001) permite identificar dinâmicas sociotécnicas, assente em duas dimensões de organização do mercado económico. Por um lado, geografias onde o papel do Estados é mais interventivo, por outro, os atores socioeconómicos são mais independentes. Esta dicotomia institucional permite-nos analisar com alguma substância empírica os sistemas de inovação nacionais.

Os sistemas nacionais de inovação são sistemas dependentes da organização e relação entre as instituições que os compõem. São sistemas sociais de produção moldados por estruturas e normas de organizações, como empresas e instituições de investigação, que criam um diferente *estilo de inovação* por país (Hage & Hollingsworth, 2000). Segundo as VdC (2001), existem nações que são mais suscetíveis a inovações incrementais, outras potenciam inovações radicais.

Num artigo recente, Andrea Herrmann e Alexander Peine (2011), demonstram algumas aproximações entre os estudos sobre os Sistemas de Inovação Nacionais (SIN) e as Variedades de Capitalismo (VdC). Se por um lado as VdC procuram caracterizar as qualificações e formação da força de trabalho das empresas, por outro os SIN focam o seu interesse na base de conhecimento dos cientistas em meio empresarial. Os autores, encontraram evidências relacionais entre o tipo de qualificações dos trabalhadores e as estratégias de inovação das empresas.

As estratégias de inovação nas empresas podem ter três tipos de resultados: Produtos Inovadores Radicais (PIR); Produtos de Inovação Incremental (PII); e Produtos sem Inovação (PsI)<sup>9</sup>. Com base nesta classificação, os autores (idem) elucidam os argumentos propostos pelas duas teorias anteriormente assinaladas, as Variedades de Capitalismo e os Sistemas de Inovação Nacionais. O quadro seguinte resume as posições teóricas relativamente ao nível de especialização das forças de trabalho.

Quadro 2.2 - Níveis de especialização da força de trabalho por tipo de inovação

<b>Teorias vs tipologia de inovação</b>	<b>Produtos de Inovação Radical</b>	<b>Produtos de Inovação Incremental</b>	<b>Produtos sem Inovação</b>
Variedades de Capitalismo (VdC)	Trabalhadores com Competências Gerais	Trabalhadores com Competências Específicas	Trabalhadores sem Competências específicas ou gerais
Sistemas de Inovação Nacionais (SIN)	Cientistas com Conhecimentos Heterogéneos	Cientistas com Conhecimentos Homogéneos	Cientistas sem conhecimentos heterogéneos ou homogéneos
Exemplos estudados	Reino Unido	Alemanha	Itália

Fonte: adaptado de Herrmann & Peine (2011)

Na visão institucional das VdC, os trabalhadores com competências transversais têm capacidades de adaptação às alterações, do contexto organizacional e da procura de mercado, e são mais suscetíveis a processos de inovação radical. Em contraponto, os trabalhadores com competências específicas estão orientados para processo de inovação incremental, onde é necessário ter um conhecimento profundo da atividade da empresa. No caso de empresas com níveis reduzidos de inovação, não necessitam de trabalhadores nem muito qualificados nem especialistas e os seus salários são de baixo valor.

<sup>9</sup> Os autores classificam estes produtos como “Produtos Imitação” (PI); também podem ser considerados produtos de inovação indiferenciados.

No campo dos SIN, a diferenciação faz-se ao nível da carreira e conhecimento dos cientistas. Aqueles cientistas com conhecimentos e percursos académicos diversificados, têm maior predisposição para encontrarem soluções inovadoras radicais. Por outro lado, os que trabalharam sempre no mesmo campo científico têm um conhecimento profundo do mesmo, que potenciam para criar inovações incrementais. Por fim, as empresas que não apostam na inovação e se limitam a imitar os seus competidores, em última instância não necessitam de contratar cientistas.

Os autores (Herrmann & Peine, 2011) referem ainda que os programas de educação e formação e os sistemas de investigação do Reino Unido (i.e. EML) direcionam os seus esforços de qualificação, para os trabalhadores e cientistas, orientando-os para estratégias de Produtos de Inovação Radicais. No caso da Alemanha (i.e., EMC), estes programas são orientados para providenciar os profissionais com a necessária qualificação para desenvolverem Produtos de Inovação Incremental. Por fim, é exemplificado o caso da Itália como tendo um fraco desenvolvimento em programas de educação e formação e dos sistemas de investigação, facilitando a entrada de profissionais com baixas competências e promovendo Produtos sem Inovação.

Estudos recentes sobre as VdC, identificam diversos modelos de capitalismo no seio da União Europeia (Farkas, 2016). De fato, a diversidade socioeconómica e cultural dos países que constituem a União Europeia é evidente, sobretudo após o alargamento da UE aos países do leste europeu e a sua adoção à economia de mercado. Se por um lado, as VdC distinguem os países a norte e noroeste europeu em economias liberais e coordenadas, respetivamente, as políticas de integração europeias e a mais recente crise soberana de 2009, promoveram maior heterogeneidade entre os países-membros.

Os modelos capitalistas desenvolvidos por Hall e Soskice (2001), fazem menção aos países mais a sul da Europa, designando-os como pertencentes às Economias Mistas ou Mediterrâneas. Mais recentemente, alguns autores, vão mais longe e propõem uma extensão das VdC para a Europa. Amable e Lung (2008), definem cinco modelos capitalistas:

- O Capitalismo Europeu Continental (CEC) constituído pela Áustria, Bélgica, República Checa, França, Alemanha, Luxemburgo e Holanda.
- As Economias Liberais de Mercado (ELM) constituídas pelo Reino Unido e Irlanda.
- As Economias Social-democratas (ESD), constituídas pela Dinamarca, Finlândia e Suécia

- O Capitalismo Mediterrâneo (CM), constituído pelos países do sul da Europa, Grécia, Portugal e Espanha.
- E o Capitalismo do Leste Europeu (CLE), constituído pela Bulgária, Estónia, Hungria, Letónia, Lituânia, Polónia, Eslováquia, Eslovénia.

Baseado na abordagem aos sistemas de inovação e às VdC, Hugo Pinto (2015), contempla os modelos de Amable e Lung (2008), e revela diferenças significativas nas 268 regiões de 27 estados-membros, segundo a sua produção de conhecimento (i.e. patentes). O autor evidenciou uma diversidade relevante de comportamentos de produção de conhecimento quando as regiões se agrupam por VdC. Por exemplo, os sistemas de inovação nas regiões do mediterrâneo são mais sensíveis a choques externos no desempenho da economia e do mercado.

A adoção do modelo de análise institucional de Hall e Soskice (2001) para diferenciar os sistemas de inovação dos países é, como referido anteriormente, uma abordagem limitada aos outputs da inovação científica. No contexto desta tese, existe uma necessidade de ir para além dos resultados da inovação e aprofundar as variáveis institucionais na formação de redes de inovação entre os atores socioeconómicos.

### Modelo de análise do institucionalismo de Hollingsworth

Os modelos baseados nas VdC (Hall & Soskice, 2001) proporcionam uma análise institucional dos Sistemas de Inovação focado nas organizações e limitados ao regime político-económico dos mercados onde operam. Por outro lado, Roger Hollingsworth (Hage & Hollingsworth, 2000; Hollingsworth, 1997, 2000, 2006) e Raymund Werle (2005; 2012), contribuem para a abordagem institucionalista aos sistemas de inovação, ao partirem do pressuposto que as nações diferem no seu estilo de inovação devido à sua configuração institucional.

Hollingsworth (2000) propõe uma análise dos Sistemas de Inovação assente numa visão de que cada sistema social de produção é uma configuração de normas, regras e valores nacionais como também de arranjos institucionais delimitados por dinâmicas sectoriais e relações entre organizações e instituições. Estes Sistemas de Inovação podem ser avaliados por um conjunto de indicadores de performance da economia que classificam as sociedades por níveis de capacidade de inovação, referindo “uma mesma tecnologia pode existir em inúmeros países, mas como esta é empregue e como influencia os resultados e performance da sociedade, varia da configuração

institucional de uma sociedade para outra” (Hollingsworth, 2000, p.624). Para o autor, existem múltiplos níveis de análise institucional (ver quadro 2.3):

Quadro 2.3 - Componentes de análise institucional de Hollingsworth

<b>Níveis de análise institucional</b>	<b>Componentes</b>	<b>descrição</b>
1º nível	Instituições	Normas, regras, hábitos e valores
2º nível	Arranjos Institucionais	Mercado, estados, hierarquias empresariais, redes, associações, comunidades
3º nível	Sectores Institucionais	Sistema financeiro, sistema de educação, sistemas empresariais, sistemas de investigação
4º nível	Estruturas Organizacionais	Empresas, organizações
5º nível	Resultados e performance	Estatutos, decisões administrativas, a natureza, qualidade e quantidade de produtos industriais, e performance sectorial e social.

Fonte: Adaptado de Hollingsworth (2000)

Segundo o autor (Hollingsworth, 2000), a conjugação dos vários tipos de arranjos institucionais entre os atores socioeconómicos pode ser interpretada por duas dimensões taxonómicas: a Dimensão Vertical (uma economia de “interesse-próprio” dos agentes *versus* uma perspectiva mais “sociológica” onde as regras sociais moldam as ações humanas); a Dimensão Horizontal (numa escala de “distribuição de poder” mais concentrado nos principais agentes ou mais desconcentrado com uma igualdade aparente na interação entre os agentes).

Estas duas perspetivas podem ser resumidas nas dimensões “motivação da ação” e “distribuição de poder” que resultam da dupla interação dos seguintes tipos de arranjos institucionais: Mercados (resultado da procura e oferta); Associações coletivas (mais formais); Tipos de intervenção estatal (p.e. mecanismos de coordenação de instituições não-estatais);

Hierarquia (organizações e empresas); Tipos de redes (vários tipos de atores); Comunidades (baseado da confiança, reciprocidade, etc).

Hollingsworth (2000) designa por sistemas sociais de produção a forma como as instituições, as suas configurações e os seus setores estão integrados numa configuração social. A configuração dos sectores institucionais exibe algum grau de adaptabilidade a novos desafios sociais, mas evolui dentro de um certo estilo; por exemplo, os estilos de produção japonesa ou os sistemas de formação vocacional alemão, ou seja, as variações na produção e processos tecnologia são influenciadas, em parte, pelas variações do ambiente social onde estão integradas. Em suma, um sector institucional só evolui num determinado caminho se outros sectores institucionais também evoluírem nesse caminho e por isso é que as sociedades têm diferentes sistemas de inovação (Hollingsworth, 2000).

As estruturas organizacionais sofrem também de um tipo de coevolução que ocorre entre as organizações e os seus ambientes institucionais, ou seja, a relação entre as organizações e o seu ambiente institucional é desenvolvida por um processo de feedback não linear, que promove uma variação na estrutura e cultura organizacional, por exemplo, entre empresas e universidades.

As estruturas organizacionais são suscetíveis a pressões externas fortes, como normas, regras e valores que moldam a cultura e estrutura do comportamento dessas estruturas. Hollingsworth (2000) introduz o conceito de isomorfismo para explicar como estas pressões determinam o tipo de estrutura organizacional. Em suma, cada organização tem as suas distintas regras, normas e convenções, que estão subordinadas a meta-normas e regras da sociedade onde estão integradas.

Nas sociedades onde as pressões institucionais são mais fortes (i.e. elevado isomorfismo organizacional), existe uma menor variação da estrutura organizacional, comprometendo a introdução de inovações radicais nos sectores industriais. Por outro lado, em sociedades com ambientes institucionais mais fracos, existe maior variação nas estruturas e culturas organizacionais de investigação, que promovem o desenvolvimento de novos conhecimentos e inovações.

Hollingsworth (2000) afirma que o *feedback* dos indicadores de *performance* influenciam cada nível de análise institucional (normas, regras, valores; arranjos institucionais, sectores institucionais; e estrutura e formas organizacionais). Diferentes arranjos institucionais e diferentes

sistemas sociais de produção resultam em diferentes tipos de performance económica; ou seja, sociedades com diferentes sistemas sociais de produção têm menor grau de convergência nos seus estilos de inovação.

Existe uma clara convicção de que a análise institucional oferece um potencial enorme para o estudo da inovação e mudança tecnológica (Hage & Hollingsworth, 2000; Hollingsworth & Hollingsworth, 2000). Os autores revelam-nos que o meio institucional influencia as estruturas das redes de inovação, como também as mudanças nas redes de inovação têm um efeito de mudança nas configurações institucionais das sociedades. A evidência sugere que as redes de inovação têm menor impacto nos sistemas normativos e regulatórios, mas um impacto significativo nos modos de coordenação e sistemas de produção da economia.

Jerald Hage e Hollingsworth (2000) consideram que as redes de inovação são influenciadas pelos ambientes institucionais e estão embebidas nos sistemas nacionais de inovação. Para os autores, as normas, modos de coordenação ou os setores institucionais definem a formação das redes de inovação, ou seja, a arquitetura do ambiente institucional de cada sistema de inovação é um fator determinante nas ligações entre os diversos atores socioeconómicos.

Por outras palavras, os sistemas nacionais de inovação tendem a influenciar as escolhas racionais dos atores, na sua procura de parceiros para a constituição de redes de inovação transnacionais. Esta escolha, segundo os autores (*idem*), é influenciada fortemente pelos modos dominantes de coordenação, existentes em cada país (i.e hierarquia corporativa, hierarquia estatal) ou segundo Hall e Soskice (2001), Economia de Mercado Liberal e Economia de Mercado Conservador.

Num mundo globalizado, as redes de inovação são constituídas por atores de diversos países com diferentes sistemas de inovação e configurações institucionais. Em particular no caso europeu, os Programas-Quadro para a I&D, promovem, precisamente, a ligação entre atores dos diversos sistemas nacionais dos estados membros. Os projetos de I&D do 7º PQ-NMP formam redes de inovação em tecnologias emergentes no setor da nanotecnologia, e nestes podemos encontrar participantes de sistemas nacionais, associados a Economias de Mercado Liberais (p.e. Reino Unido) ou a Economias de Mercado Conservadoras (p.e. Alemanha).

A abordagem de Hollingsworth, confere um quadro de análise institucional, assente numa visão normativa das configurações institucionais. Contudo, permite-nos alargar o horizonte teórico, para uma visão mais abrangente do institucionalismo dos sistemas de inovação. A secção seguinte, vem demonstrar isso mesmo, um modelo de análise institucional aos sistemas de inovação que permite agregar as perspetivas teóricas do institucionalismo e os estudos da inovação, descritos anteriormente.

Nas secções anteriores, a inovação foi analisada à luz de duas abordagens complementares, a sistémica e a institucional. Ambas, revelam fatores que explicam o fenómeno de formação de redes de colaboração científica e tecnológica com o objetivo de produzir inovação. Por um lado, a abordagem aos sistemas de inovação, permite-nos identificar níveis de organização sistémica, que proporcionam estruturas em rede entre os diversos atores socioeconómicos, de uma nação, região, setor ou de um setor tecnológico. Por outro, a abordagem institucional induz-nos numa interpretação da formação de redes inovadoras, ou seja, existem fatores institucionais que influenciam as motivações dos atores socioeconómicos procurarem determinados parceiros para formarem redes de inovação.

Estas abordagens, individualmente, contribuem para a compreensão do fenómeno da inovação. Contudo, fica por evidenciar um quadro teórico que consiga agregar numa só perspetiva, estas duas correntes de estudos sobre a inovação. Neste sentido é proposto uma nova perspetiva ao institucionalismo dos sistemas de inovação.

### Modelo de análise do institucionalismo de Werle

Na senda de uma teoria institucionalista dos sistemas de inovação, surge a proposta de Raymund Werle (2005) de um modelo concetual que reúne as teorias, das organizações dos sistemas de inovação, das Variedades de Capitalismo e dos sistemas sócio tecnológicos, numa matriz caracterizada por três tipos de institucionalismo: o socioeconómico; o político-económico; e o tecno-sociológico.

### O Institucionalismo socioeconómico

A inovação é objeto de estudo para muitos economistas, nomeadamente para os seguidores do neo-Schumpeterianos e para os evolucionistas cujo o foco é o papel da inovação na economia. Para o economista Richard Nelson (1993) a inovação é o processo no qual as empresas criam e

disponibilizam novos produtos e serviços ao mercado procurando o seu crescimento e prosperidade. O autor identifica, ainda, o papel fundamental dos atores institucionais, no prosseguimento dos processos de inovação, intitulando-os como construtores dos sistemas de inovação. Estes sistemas podem ser de âmbito nacional ou transnacional.

Segundo o economista evolucionista Lundvall (2010), o sistema nacional de inovação é constituído por um conjunto de elementos que interagem entre si, para produzir e difundir um novo uso de conhecimento economicamente útil ao nível e dinâmica de uma nação. Para o autor, o conhecimento é reproduzido pelas relações sociais entre os atores institucionais e difundido pelo processo de aprendizagem contínua. Lundvall (2010) afirma ainda que o processo de aceleração da internacionalização das economias nacionais é refletido pela característica transnacional dos atores institucionais, do sistema de inovação nacional e pelo papel da comunicação entre estes atores durante o processo de disseminação do conhecimento.

Os sistemas de inovação podem ser perspectivados de duas formas: uma análise regional ou sectorial. Nos sistemas regionais de inovação, a análise foca as atividades nas infraestruturas e relacionamentos dos atores institucionais e sociais da rede de inovação de uma determinada região (Asheim & Gertler, 2009). Na perspectiva setorial, a análise é feita selecionando setores de tecnologia predominante. Esta visão setorial mantém a característica fundamental dos sistemas nacionais e regionais de inovação (Malerba, 2002; Malerba *et al.*, 2006).

Por outro lado, a perspectiva de Bo Carlson (1997) centra-se na tecnologia e compara esta visão com as restantes perspectivas dos sistemas de inovação. Os Sistemas Tecnológicos de Inovação diferem da visão sectorial porque focam a sua análise na tecnologia em vez das indústrias, e são diferentes dos sistemas regionais porque alguns sistemas tecnológicos ultrapassam as fronteiras dos países. Segundo, esta abordagem pode ser aplicada aos diferentes níveis de análise pois é independente do tipo de mercado, ficando sujeita a uma perspectiva temporal da tecnologia, do número de atores, instituições e as suas relações.

### O Institucionalismo político-económico

Os sistemas de inovação nacionais são sistemas dependentes da organização e na relação entre as instituições que os compõem. São sistemas sociais de produção moldados, por estruturas e normas de organizações, como empresas e instituições de investigação, que criam um diferente *estilo de inovação* por país (Hage & Hollingsworth, 2000). Segundo, Peter Hall (2001) em

Variedades de Capitalismo (VdC), existem nações que são mais suscetíveis a inovações incrementais, outras potencializam inovações radicais.

As Variedades de Capitalismo (Hall & Soskice, 2001), são uma forma de abordagem de escolha racional, que pretendem compreender as interações entre as instituições colocando como objeto de análise as empresas de um sistema político-económico. As interações nos sistemas sociais de produção dependem das estruturas institucionais, relações industriais, qualificação dos recursos humanos, sistemas financeiros e sistemas baseados em investigação científica. Para os autores, existem dois tipos de sistemas político-económicos, as Economias de Mercado Liberais (EML) e as Economias de Mercado Coordenado (EMC).

Nas EML as empresas coordenam as suas atividades por via das hierarquias e relações competitivas de mercado, apoiados por um sistema legal forte e competitivo. Nas EMC, as empresas estão mais dependentes de fatores relacionais de origem não-mercado, onde coordenam os seus objetivos com as restantes empresas e instituições que apoiam as ações de coordenação. No modelo VdC (*idem*), o mercado político-económico as empresas e instituições deparam-se com a possibilidade de formarem regras informais em virtude das suas experiências de relacionamento e partilha de uma cultura comum.

### O Institucionalismo tecno-sociológico

O institucionalismo é abordado na sociologia da tecnologia por via dos estudos dos Grandes Sistemas Tecnológicos (GST). Estes estudos colocam as instituições no centro de resolução dos problemas de coordenação e regulação que emergem durante o processo de desenvolvimento de infraestruturas tecnológicas (Werle, 2005). Estes sistemas têm origem nos trabalhos de Hughes (1993;1987) quando analisou os projetos de implementação da rede elétrica nas cidades de Chicago, Londres e Berlim, por serem grandes projetos e requererem um quadro político-institucional diferente dos demais.

Os GST têm merecido alguma atenção nos estudos sobre a ciência, tecnologia e inovação (Coutard, 2002; Geels, 2007; Hughes, 1993; Mayntz & Hughes, 1988), sobretudo nas áreas das redes de infraestruturas de apoio ao desenvolvimento económico e em particular as relações sociotécnicas entre os demais intervenientes económicos e institucionais.

Os GST assentam em modos de coordenação institucional de três tipos: hierárquica, mercado e rede. Estas redes são normalmente designadas por “redes de inovação” e promovem a evolução e difusão de novas tecnologias, para o centro do sistema (Werle, 2005). Os GST dependem também de determinados arranjos institucionais entre atores e suas estratégias de coordenação. No caso de redes de inovação, os atores que se relacionam com parceiros de setores diferentes do seu, estão mais propícios a desenvolverem e difundirem inovações radicais.

Andrew Davies (1996) refere mesmo que as relações entre os atores económicos e institucionais são essenciais para o crescimento económico das sociedades e que a inovação nos Grandes Sistemas Tecnológicos deve acompanhar os fatores desse crescimento. O autor refere ainda que os sistemas económicos não se devem sobrepor aos sistemas sociais e políticos, mas sim, definirem-se num quadro de referência, para integrar a tecnologia, economia e política nos Grandes Sistemas Tecnológicos referidos por Hughes.

As três perspetivas institucionais anteriormente referidas não escrutinam os detalhes das inovações tecnológicas. Contudo, devem analisar e descrever categoricamente o tipo de inovação, como sendo radical ou incremental, e permitem explorar as relações entre os sistemas institucionais e a inovação tecnológica. Estes sistemas ou constelações institucionais são caracterizados também por tipologias, como hierarquia, mercado, rede e economias coordenadas e liberais (Werle, 2005; Werle *et al.*, 2012). O quadro seguinte apresenta as variações entre os três tipos de institucionalismo, no que respeita à inovação tecnológica.

Quadro 2.4 - Resumo da abordagem institucionalista à inovação tecnológica

	<b>Socioeconómico</b>	<b>Político-económico</b>	<b>Tecno-sociológico</b>
<b>Foco principal</b>	Sistemas Nacionais de Inovação	Variedades de Capitalismo	Coordenação de Grandes Sistemas Tecnológicos
<b>Tipos de inovação</b>	Radical / Incremental Frequente/ Raramente	Radical / Incremental Discreto / Cumulativo	Radical / conservativo Incompatível / Compatível
<b>Perfil teórico</b>	Endogeneização da capacidade tecnológica e inovativa	Correspondência à variedade institucional e tipo de inovação	Modelos de fases de desenvolvimento técnico não-linear
<b>Sistema Institucional</b>	Instituições são elementos heterogéneos de	Sistemas são constelações de instituições	Sistemas incorporam elementos tecnológicos

	Socioeconómico	Político-económico	Tecno-sociológico
	constelações	complementares	
<b>Resultados na inovação</b>	Convergência de instituições; (raras) mudanças nos paradigmas técnico-económicos	Inovações podem influenciar a capacidade adaptativa das instituições	Momento tecnológico exerce pressão para a adaptação institucional
<b>Perspetiva teórica</b>	Alternância de períodos de <i>construção social</i> e <i>determinismo tecnológico</i>	Coevolução de desenvolvimento tecnológico e institucional	Interação <i>mediada por ator</i> para o desenvolvimento institucional e técnico

Fonte: adaptado de Raymund Werle (2005)

Apesar desta abordagem tridimensional partir do pressuposto que as inovações são uma variável dependente, o seu desenvolvimento e disseminação é institucionalmente indeterminado (Werle, 2005). O quadro analítico proposto por Werle é consistente na integração das abordagens sistémicas e institucionais à inovação, referidas nas seções anteriores. Neste sentido, considera-se pertinente a utilização deste quadro concetual no desenvolvimento de uma metodologia, que permita compreender o fenómeno de formação de redes de inovação no contexto das políticas públicas europeias.

Para completar este enquadramento teórico da análise institucional aos sistemas de inovação, é proposta uma breve referência à teoria das redes de inovação. A secção seguinte tem o propósito de enquadrar a abordagem às redes de inovação, na perspetiva da avaliação dos sistemas institucionais de inovação.

## CAPÍTULO 3 - ENQUADRAMENTO HISTÓRICO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A CIÊNCIA E TECNOLOGIA

De acordo com o institucionalismo histórico os caminhos tecnológicos (i.e. *path dependency*) tendem a explicar a continuidade institucional. As alterações aos ambientes institucionais, por exemplo, pela introdução de políticas públicas nacionais, podem afetar os atores socioeconómicos dos sistemas de inovação. Este capítulo visa uma introdução histórico-institucional da integração europeia pela ótica da ciência e tecnologia, pelos suas políticas públicas (i.e. Programas-Quadro). Tal enquadramento histórico permitirá melhor compreender o ambiente institucional dos sistemas nacionais de inovação e contribuir para compreender os caminhos tecnológicos da Europa.

### 3.1. O desenvolvimento das políticas europeias de ciência e tecnologia

No início dos anos 50 estava nas mãos dos europeus o maior desafio da sua história, a reconstrução de uma Europa devastada pela segunda guerra mundial e a institucionalização de políticas públicas comuns. Com o objetivo de fortalecer as ligações frágeis entre os países que outrora se confrontavam, foi edificada a Comunidade Europeia do Carvão e Aço<sup>10</sup> (ECSC, 1951, art.º 55). Este processo deu início a uma corrente político-institucional caracterizada pelo desenvolvimento de instituições e políticas comuns em diversos sectores da sociedade Europeia.

A política científica e tecnológica para o bem comum dos europeus tem o seu marco mais importante na construção do Centro Europeu de Investigação Nuclear (CERN) em 1952. Para além do projeto científico de investigação nuclear, o CERN é um exemplo de como a ciência pode unir países com diferentes culturas político-institucionais diferentes. À época, a investigação nuclear era uma prioridade para as políticas industriais, sendo a energia nuclear considerada a fonte para uma nova revolução industrial europeia.

Segundo a vontade de construir uma Europa unida em torno de valores e políticas comuns, em 1957 foi criada a EURATOM ou Comunidade Europeia de Energia Atómica e a Comunidade Económica Europeia (CEE), ratificadas pelo Tratado de Roma pela França, Itália, Alemanha Ocidental, Bélgica, Holanda e Luxemburgo<sup>11</sup> (Treaty Establishing the European Economic

---

<sup>10</sup> “European Coal & Steel Community”. Países membros: Bélgica, França, Itália, Luxemburgo, Holanda e Alemanha Ocidental.

<sup>11</sup> Posteriormente também ratificaram o Tratado o Reino Unido, Irlanda e Dinamarca (1973), Grécia (1981), e, em 1986, Portugal e Espanha.

Community, 1957). O foco na ciência fundamental, como a energia nuclear, levou estes países-membros a criarem um centro de investigação científica comum ao serviço da então CEE. Em 1958, o Joint Research Centre (JRC), surge com o propósito de apoiar a Comissão da CEE nas orientações estratégicas para o desenvolvimento da ciência e tecnologia europeia.

No início da década de 1960, durante a conferência europeia “Progrès Technique et Marche Commun”, o então vice-presidente da Comissão da CEE, M. Robert Marjolin, fez um discurso que alertou definitivamente os agentes políticos para a importância da ciência europeia no desenvolvimento económico e social das suas populações: “portanto, era impossível falar das consequências sociais do progresso técnico, sem que, primeiro se examinasse as consequências económicas”<sup>12</sup> (CEE, 1960). Robert Marjolin defendia no seu discurso que a Europa e os seus políticos devem refletir sobre os impactos das políticas científicas e tecnológicas implementadas. No rescaldo da conferência, em 1962, foi criado o grupo de trabalho PREST<sup>13</sup>, da Universidade de Manchester, com o objetivo de avaliar a política científica e tecnológica da CEE.

A estratégia europeia para a ciência e tecnologia (C&T) do pós-guerra é caracterizada pela institucionalização das políticas em infraestruturas de apoio à investigação fundamental ou “Big Science”. Durante a década de 1950 foram desenvolvidos esforços para sedimentar a união dos povos europeus, como a implementação do CERN, o JRC e o EURATOM. Nos anos 60 e depois de se identificar o *gap* tecnológico relativamente ao EUA, a CEE sob a égide de uma “estratégia Europeia” para o desenvolvimento científico e tecnológico, reforça as suas instituições com a criação em 1962 do Observatório Europeu do Sul (ESO) e em 1964, com a Organização Europeia para a Biologia Molecular (EMBO).

A convergência política no âmbito das políticas científicas e tecnológicas europeias inicia-se nos anos 1970, com a introdução da iniciativa COST, um programa intergovernamental com o objetivo de desenvolver ações de cooperação internacional entre cientistas, engenheiros e investigadores académicos dos respetivos estados-membros. Este é um programa que permite criar redes entre as diferentes comunidades científicas europeias, por via, de ações de partilha de conhecimento (p.e. conferências) organizadas por temáticas científicas.

---

<sup>12</sup> Do francês “il était donc impossible de parler des conséquences sociales du progrès technique sans examiner d'abord les conséquences économiques”

<sup>13</sup> Do Inglês “Policy Research in Engineering Science and Technology”

A década de 70 foi ainda marcada pela Cimeira de Paris em 1971, na qual os estados-membros perspetivaram um plano de ação comum para a C&T a iniciar em 1974, como refletido na declaração final: “*Objectives will need to be defined and the development of a common policy in the field of science and technology ensured. This policy will require the co-ordination, within the Institutions of the Community, of national policies and joint implementation of projects of interest to the Community*”(CEE, 1972, p.5). Neste estágio de evolução da política europeia para a C&T, foi necessário reforçar os laços institucionais entre as diferentes instituições comunitárias e os estados-membros por meio de políticas públicas (p.e. a política científica, a política tecnológica-industrial, e as tecnologias de comunicação e informação).

Um passo importante para a institucionalização da C&T europeia surge em 1973, pelas mãos do visionário Comissário alemão Ralf Dahrendorf, com criação da primeira Direção-Geral para Investigação, Ciência e Educação (DGRTD), que tinha como objetivo coordenar as políticas de C&T na então CEE. Dahrendorf foi precursor na construção de um mercado único europeu de investigação, sem barreiras à mobilidade do conhecimento e da inovação, exigindo dos estados-membros a harmonização dos procedimentos relativos aos investimentos em Investigação e Desenvolvimento (Banchoff, 2002).

O caminho para o espaço único de investigação europeia foi reforçado com a criação em 1974 do Comité de Investigação Científica e Técnica (CREST) e a Fundação para a Ciência Europeia (ESF). O primeiro, com a função de preparar e coordenar as decisões, em matéria de C&T entre a Comissão Europeia e o Conselho Europeu e o segundo, de âmbito não governamental, propunha facilitar a coordenação das políticas de C&T dos estados-membros. Ainda na década de 70, na desenfreada corrida ao espaço, foi também criada a Agência Espacial Europeia (ESA), com impacto significativo na comunidade científica e industrial europeia.

Estas últimas ações políticas das instituições europeias fecham um período caracterizado pela criação de infraestruturas científicas de grande porte (i.e., *Big Science*) que farão parte da ciência fundamental que irá proporcionar o desenvolvimento de outras políticas públicas mais setoriais e conjunturais. Este prelúdio da integração científica europeia antecede outros dois períodos de âmbitos mais estritos e complexos.

## A era “pré-competitiva”

No início dos anos 80, em plena Guerra Fria, as nações mundiais competiam para alcançar a liderança científica e tecnológica. Face ao avanço tecnológico dos EUA e do Japão, o então comissário europeu Étienne D’Avignon, aprovou em 1982, o Programa Estratégico Europeu para Investigação e Desenvolvimento das Tecnologias da Informação (ESPRIT). Um programa piloto para promover o desenvolvimento de tecnologias de informação e comunicação junto das indústrias europeias. Foi a primeira ação que procurou alinhar as políticas de I&D aos objetivos económicos da Comissão Europeia (CE) (Borrás, 2003).

O Programa ESPRIT veio dar alento à CE e expandir o âmbito da sua ação nas políticas de I&D ao nível dos estados-membros. Nesta direção, em 1982, a CE lança a proposta de criar quadros plurianuais de financiamento das atividades de I&D europeias (European Commission, 1982). Conhecidos como Programas-Quadro para a Investigação e Desenvolvimento Tecnológico (PQ-IDT)<sup>14</sup>, são o instrumento político para a estratégia de I&D da Comissão Europeia e consistem em fundos financeiros dirigidos à comunidade científica e a sectores económicos prioritários.

O primeiro Programa-Quadro para o período entre 1984 e 1987 refletiu a vontade da Comissão Europeia e desenvolver a I&D ao nível comunitário, baseado em projetos colaborativos e ações concertadas que colmatavam as dificuldades dos estados-membros no campo da sua I&D.

A definição das prioridades da CE no primeiro Programa-Quadro, eram justificadas pelo designado Critério de Reisenhuber (Andrée, 2009), assente em quatro premissas: a I&D conduzida em grande escala por um só país-membro era difícil ou mesmo impossível; a I&D obteria mais recursos financeiros se fosse concretizada em conjunto; a I&D chegaria a resultados significativos para a comunidade, na sua complementaridade ao nível nacional e sectorial; a I&D contribuiria para a coesão do mercado comum, promovendo assim a unificação europeia da ciência e tecnologia, estabelecendo também, leis e regulamentos uniformes.

O primeiro PQ foi caracterizado por ser um instrumento da Comissão para política industrial, avaliado em 3,75 milhões ECU<sup>15</sup> e distribuído por 7 prioridades sectoriais, consideradas pré-competitivas (Andrée, 2009; European Parliament, 2017):

---

<sup>14</sup> Referido a partir deste ponto por Programa-Quadro (PQ)

<sup>15</sup> Unidade Monetária Europeia que foi substituída pelo Euro (€) em 1999.

1. Promoção da competitividade agrícola (agricultura e pescas);
2. Promoção da competitividade industrial (novas técnicas e produtos para a indústria tradicional; novas tecnologias);
3. Melhorar gestão de novos materiais;
4. Melhorar a gestão dos recursos energéticos (energia de fissão nuclear; controlo da fusa termonuclear; fontes de energias renováveis; uso racional da energia);
5. Alavancar o apoio ao desenvolvimento;
6. Melhorar as condições de trabalho e vida (melhorar a segurança e saúde; proteger o ambiente);
7. Melhorar a eficiência do potencial das comunidades científicas e tecnológicas.

Este PQ trouxe diversos dissabores aos estados-membros: por um lado, a política de subsidiarização não era considerada uma política comum; por outro, a burocracia excessiva da DGRTD limitava a I&D nacional (Andrée, 2009; Borrás, 2003). A verdadeira institucionalização dos PQ surge quando estes foram integrados num dos principais tratados europeus, o Ato Único Europeu. Este tratado, lançado sob a Presidência de Jacques Delors à frente da Comissão Europeia, tinha como principal objetivo o reforço da construção do mercado único.

O “Tratado das Atividades de Investigação” gravado no Ato Único Europeu, contemplava, pela primeira vez, uma base legal para os PQ, em particular no artigo 130º I (SEA: Single European Act, 1987)<sup>16</sup>: “A *Comunidade adotará um programa-quadro plurianual no qual será enumerado o conjunto das suas ações. O Programa-Quadro fixará os objetivos científicos e técnicos, definirá as respetivas prioridades, indicará as linhas gerais das ações previstas, fixará o montante considerado necessário e as modalidades da participação financeira da Comunidade no conjunto do programa, bem como a repartição deste montante entre as diferentes ações previstas.*” Aos estados-membros cabe promover a cooperação de I&D entre empresas, centros de investigação e universidades, coordenadas com Comissão Europeia (art.130ºF, SEA).

O Tratado Único Europeu veio consolidar a institucionalização da I&D europeia e o segundo Programa-Quadro para a Investigação e Desenvolvimento, que vigorou durante o período entre 1987 e 1991, é o reflexo das ambições da CE para criação do Mercado Único de investigação. A par do desenvolvimento científico e tecnológico, o 2º PQ introduziu mais um critério estratégico

---

<sup>16</sup> Também designado por Tratado Único Europeu.

para a política de C&T europeia: a coesão económica e social da Comunidade. A introdução deste critério sugere a pressão de outros atores institucionais na definição da política de C&T da Comissão, numa forma de *advocacy coalition*<sup>17</sup> que rompe com a tradição isolacionista das anteriores DGRTD, mas coloca o PQ a competir com outros mais da política industrial da Comissão (Borrás, 2003).

Os objetivos do 2º PQ seguem os requisitos do Ato Único Europeu na sua conceção geral (SEC(92)675):

1. Reforçar a base científica e tecnológica da indústria europeia, em particular as Pequenas e Médias Empresas (PME) em setores altamente tecnológicos;
2. Encorajar o desenvolvimento da competitividade internacional da indústria europeia promovendo a sua base tecnológica, permitindo que adquiram massa crítica por via de redes entre PMEs, grandes empresas, centros de investigação, universidades, etc;
3. Contribuir para o reforço da coesão económica e social da Comunidade Europeia, em particular através da obtenção de valor acrescentado pelas atividades de escala da Comunidade e o Mercado Único.

O foco deste PQ enquadra-se na vontade da CE em reforçar a sua estratégia de consolidar o Mercado Único por via da alavancagem das capacidades *sui generis* das atividades colaborativas dos estados-membros, indo ao encontro do relatório da CE que incentivava a orientação dos PQ para o bem dos europeus (Aigrain, Allen, e Oliveira, Colombo, & Markl, 1989). Com o 2ºPQ foram também lançados os programas, FAST<sup>18</sup> com o objetivo de avaliar e projetar a ciência e tecnologia europeia no futuro. A par deste PQ a CE lançou o Programa SPRINT (1983-1988) que colocava a inovação, como principal fonte de transferência de tecnologia para o mercado.

No início da década de 90, a política científica europeia foi moldada pelo 3º PQ, que decorreu entre 1990 e 1994. Esta década, é ainda, marcada pelo *gap* de I&D entre a Europa e os EUA. Assente nesta discrepância, a DGRTD reforça a implementação do PQ em políticas sectoriais, como a competitividade, união monetária ou a coesão social. Este PQ foi desenhado com seis grandes objetivos estratégicos (Andrée, 2009):

---

<sup>17</sup> Termo na ciência política que refere a existência de diversos atores sociais (p.e. agências governamentais, grupos de interesses, ONG) com o mesmo interesse na solução de um determinado sistema ou problema político - Paul Sabatier (1988).

<sup>18</sup> FAST1: 1978-1983; FAST2: 1983-1987.

1. Promover a competitividade industrial;
2. Realizar os objetivos de um grande mercado comum pela via de normas e padrões;
3. Promover iniciativas industriais transnacionais;
4. Introduzir uma dimensão europeia na formação dos trabalhadores ligados à I&D;
5. Aumentar a coesão económica e social a par da excelência dos projetos científicos e tecnológicos;
6. Todas as iniciativas devem introduzir os fatores de proteção do ambiente e a qualidade de vida.

Numa estratégia de reforçar as políticas regionais de inovação, surgem neste período, comunidades epistémicas fortes no seio da academia e da sociedade em geral. O “Committee on Innovation and the Transfer of Technology” (CIT), a “Community Initiative (EEC) concerning regional capacities for research, technology and innovation” (STRIDE) ou o Programa SPRINT são exemplos de instrumentos da CE para promover a avaliação e análise da implementação das suas políticas científicas e tecnológicas.

Em 1993, o tratado europeu de Maastricht vem reforçar o papel das políticas de I&D no seio das prioridades europeias e por consequência o seu institucionalismo. O Parlamento Europeu também reforçou o orçamento para Investigação e Desenvolvimento e a Comissão Europeia, influenciado pelo *white paper* “Growth, Competitiveness and Employment” (Commission of the European Communities, 1993), que promove o papel da C&T no suporte à competitividade, crescimento económico e emprego.

O ímpeto de Maastricht está refletido no 4º PQ (1994-1998) e no reforço das atividades de investigação de suporte a todos os setores da sociedade europeia. Como foi referido pelo comissário Bangemann, “*The Fourth Framework Programme has now to concentrate on the cross-roads of technological development and innovation and to contribute to the competitiveness of all sectors of European industry and services, to their sustainable development and to the promotion of the quality of life.*” (European Commission, 1994b).

Para o Comissário António Ruberti, este programa enfrentava três grandes desafios: o flagelo do desemprego por toda a Europa; a coordenação, cooperação e utilização dos recursos dos

países-membros para a investigação europeia; o impacto das políticas de I&D nas restantes políticas da Comunidade e na sociedade europeia (European Commission, 1994a).

As preocupações das decisões políticas estão bem refletidas nos novos objetivos estratégicos do 4º PQ (Andrée, 2009):

- Criação de infraestruturas de alto nível nos sectores das tecnologias de informação e comunicação, transportes e energia.
- Criar competitividade nas tecnologias industriais e sua compatibilidade com a qualidade de vida, proteção e segurança ambiental, e tecnologias de produção limpas e inteligentes.
- Disseminação e utilização sistémica dos resultados da investigação, em particular para as Pequenas e Médias Empresas.
- Coordenação das políticas de investigação da Comunidade com as políticas de I&D dos estados-membros.

Pelo ano de 1995, é publicado o livro-verde, sobre a inovação, designado por “Paradoxo Europeu” (Cresson & Bangemann, 1995; Dosi, Llerena, & Labini, 2006), revelando mais uma vez, o atraso da Europa, na competitividade científica e tecnológica mundial. O relatório é perentório ao referir que, apesar dos países europeus liderarem a produção científica não conseguem transformar esse conhecimento acumulado em produção industrial e produtos inovadores, recaindo a responsabilidade sobre a política científica e sectorial da Europa.

Este relatório foi o mote para a criação do primeiro “Plano de Ação para a Inovação na Europa” (Commission of the European Communities, 1996). Este plano foi desenvolvido por unidades da CE em conjunto com a OCDE e envolvendo outros *stakeholders* (p.e. consultores, especialistas, indústria) que refletem a nova via institucional originada nos anos 80, a “technology change” ou mudança tecnológica.

O plano identificou três áreas fundamentais de ação para as políticas científicas europeias: a promoção da cultura de inovação; um quadro de ação propício à inovação; e melhor articulação entre a investigação e inovação. Na sua base, esta proposta política, consistiu em estender o conceito de mercado único no espaço europeu de investigação e inovação, criando uma série de mecanismos políticos e legais para a liberdade de movimentação de cientistas, investigadores e engenheiros pelo espaço europeu, bem como diversas leis e regulamentos que permitiam o

financiamento e funcionamento das empresas de base tecnológica, em particular aquelas que transformavam o conhecimento em produtos e serviços inovadores.

A integração do espaço europeu de investigação e inovação deu um passo significativo em 1997 com o Tratado de Amesterdão. Neste Tratado está contemplado o início do Método Aberto de Coordenação (MAC), que estabelece os indicadores, para as melhores práticas na implementação de políticas europeias para lá dos tratados. Em suma, o MAC assume uma posição institucional, na intermediação entre a cooperação intergovernamental e as políticas comuns europeias (Greek Presidency of EU, 2003). A I&D europeia toma relevo no capítulo XVII do Tratado que estabelece a União Europeia (2002); em particular, sugere o artigo 169º que a implementação dos programas-quadro seja feita em coerência com os programas nacionais dos estados-membros.

Antes do final da década, a Europa da ciência e inovação dá início ao 5º PQ (1998-2002). Na realidade foram dois Programas-quadro, um direcionado para a investigação, desenvolvimento tecnológico e ações de demonstração, e outro para, a preocupante investigação e formação no sector nuclear (European Commision, 2009a). O PQ, consistiu em dois eixos de ações-chave:

A. O Eixo dos programas temáticos:

1. Qualidade de vida e gestão dos recursos vivos;
2. A adequabilidade da sociedade de informação;
3. Crescimento competitivo e sustentável;
4. Energia, ambiente e desenvolvimento sustentável.

B. O Eixo dos programas horizontais:

5. A conformação do papel da comunidade científica internacional;
6. Promoção da inovação e envolvimento das PMEs;
7. Melhorar a investigação das humanidades e do conhecimento socioeconómico.

O 5º PQ foi o culminar de duas décadas de políticas para a investigação, desenvolvimento e inovação, que contribuíram para a construção de um espaço europeu comum de investigação. Completo de avanços e recuos institucionais, prevalecendo o objetivo de tornar a Europa numa referência internacional na ciência e inovação. Se os anos 80 foram marcados pela criação dos primeiros instrumentos da política científica, os anos 90 representam a requalificação dos mesmos,

com a chegada de novos atores sociais às páginas das políticas científicas europeias e o foco dessas políticas, na resolução dos problemas societais.

O desenvolvimento científico e tecnológico da Europa foi marcado no final do séc. XX, pela introdução das primeiras políticas públicas para a ciência e inovação industrial. Foram, também, acompanhadas pela edificação das principais instituições ao serviço da ciência e inovação europeia. Surgiram os programas “pré-competitivos”, como o BRITE, ESPRIT ou RACE, que procuravam introduzir, na teia de inovação industrial, alguns centros de investigação e universidades normalmente de Estados-membros diferentes (Andrée, 2009).

Os primeiros Programas-Quadros alimentavam estes programas industriais e sectoriais com financiamento de projetos, em rede, a novos atores sociais e económicos. Foi só a partir do 2ºPQ que as universidades assumiram maior responsabilidade nas redes de inovação, na sequência do financiamento a 100% dos seus custos. Aliás, os 3º e 4º PQ elegem como prioridade projetos que incluem universidades, centros de investigação e no mínimo duas empresas industriais de pequena ou média dimensão de diferentes estados-membros. O 5º PQ foi marcado pela entrada de novos atores, como investigadores de outras áreas socioeconómicas e em alguns casos, cidadãos utilizadores finais da inovação resultante (Andrée, 2009).

### **Era “competitiva”, O Espaço Europeu de Investigação**

O início do século XXI inicia-se com a famosa Comunicação da Comissão Europeia ao Conselho Europeu, “Rumo ao Espaço Europeu da Investigação (EEI)” (European Commission, 2000). Esta Comunicação é o culminar de uma estratégia para a realização de um espaço único europeu de investigação científica, e consiste em estabelecer uma zona de investigação sem fronteiras, na qual os recursos científicos serão utilizados de melhor forma, com vista ao crescimento do emprego e da competitividade na Europa.

O EEI contempla três conceitos desenvolvidos ao longo dos últimos Programas-Quadro: a criação de um “mercado interno” de investigação, de livre circulação de pessoas e conhecimento; melhoria da coordenação das atividades e das políticas de investigação nacionais; e uma política de financiamento científico coordenada, com as restantes políticas socioeconómicas.

O ano de 2000 é ainda marcado pelo Conselho Europeu de março em Lisboa, que consagrou o então Método Aberto de Coordenação, com impactos significativos na investigação e inovação europeia. Contudo, este Conselho Europeu, ficou conhecido pela criação da Agenda de Lisboa, ou melhor, a “Estratégia de Lisboa”.

Mais do que um tratado Europeu, a “Estratégia de Lisboa” é um plano de desenvolvimento, com um horizonte de implementação até 2010, que assentava em três pilares fundamentais (European Parliament, 2000; Rodrigues & Cadeiras, 2003): um emprego forte; uma reforma económica; e uma coesão social como parte integrante de uma sociedade e economia baseada no conhecimento. Como referido nas conclusões da sua presidência, tornar a Europa “*no espaço económico mais dinâmico e competitivo do mundo baseado no conhecimento e capaz de garantir um crescimento económico sustentável, com mais e melhores empregos, e com maior coesão social*” (Rodrigues, 2009).

A Estratégia de Lisboa exigiu dos estados-membros mais rigor na implementação das estratégias e implicações ao nível do Método Aberto de Coordenação, resultando no reforço institucional, do Conselho Europeu. Neste sentido, foram lançadas diversas políticas orientadas para os respetivos Estados (Rodrigues, 2009):

- a) Elaboração de uma política para a Sociedade de Informação. Pretendia melhorar a qualidade de vida dos cidadãos por via das tecnologias de informação e comunicação em áreas como a gestão da saúde e urbana ou na educação e serviços públicos. Ações concretas na criação de redes de telecomunicações avançadas ou democratizar o acesso à internet.
- b) Criar uma política comum para a Investigação e Desenvolvimento com um intuito de estabelecer uma área de I&D europeu por via de programas científico-tecnológicos partilhados.
- c) Promover de uma política de inovação e propriedade intelectual com o objetivo de criar uma patente comunitária.
- d) Promover o empreendedorismo criando políticas nacionais que simplifiquem os processos administrativos, melhores regulações e acesso a capital de risco.
- e) Avançar com reformas económicas que promovam o crescimento e a inovação, que incentivem os mercados financeiros a suportar novos investimento. E uma liberalização total em sector mais protegidos pelos Estados.

- f) Definir novas prioridades para política nacional de educação. Um ensino aberto à sociedade e baseado em novas ferramentas como a multimédia e a internet. Iniciativas como o diploma Europeu ou o processo de Bolonha são exemplos destas políticas.
- g) Intensificar as políticas ativas de emprego como a aprendizagem ao longo da vida, ou a promoção da igualdade de géneros. Sem descurar a sustentabilidade dos sistemas de segurança social deve ser reduzida a taxa de desemprego.
- h) Procurar a modernização do Estado Social Europeu com a convergência da idade de reforma com a idade ativa das populações (esperança média de vida).
- i) Elaboraões de planos nacionais que garantem a inclusão social, entre outros, planos para a educação, saúde e habitação. E também para grupos de risco como os idosos ou crianças.
- j) Implementação de políticas públicas para o desenvolvimento sustentável ambiental. Uma orientação que chega com Concelho de Estocolmo em 2001.

Estas reflexões e posições políticas da Comissão Europeia e do Conselho Europeu estão institucionalizadas nos principais instrumentos das políticas científica e tecnológica da Europa, o 6º e 7º PQs. Estes novos Programas vieram dar um impulso significativo ao Espaço Europeu de Investigação e colmatar a coordenação dos diversos instrumentos nacionais de investigação.

Neste sentido, a CE proporcionou aos diversos estados-membros uma série de instrumentos logísticos e jurídicos para promover a coordenação das atividades científicas e de inovação. Foram então criadas algumas organizações intergovernamentais, como a ESF (Fundação Europeia da Ciência), ESA (Agência Espacial Europeia) e aprofundada a cooperação europeia no domínio da investigação científica e técnica com a implementação do EUREKA, o programa extracomunitário, com o objetivo de aproximar as universidades, as empresas e os centros de investigação no âmbito da investigação e inovação (European Commission, 2000)

Após o estratégico Conselho Europeu de Lisboa, em 2002, este reuniu-se novamente em Barcelona (Espanha) para discutir a Agenda de Lisboa. Deste encontro, não só os compromissos com a “Estratégia de Lisboa” foram reforçados, como a construção do EEI teve um novo alento, com a definição do objetivo europeu de investimento em I&D no patamar de 3% (2% nível dos privados e 1% nível dos Estados). Foi ainda decidido lançar o ambicioso 6º PQ-IDT no verão desse mesmo ano (European Council, 2002).

Em junho de 2002 é lançado o 6º PQ (2002-2007) e o seu objetivo principal era contribuir para a criação de um verdadeiro Espaço Europeu de Investigação através da integração e coordenação da investigação e desenvolvimento tecnológico nacionais (Decisão do Parlamento Europeu e Conselho Europeu de 2002, L232/22). Como principal instrumento financeiro e jurídico, o 6º PQ contribuiu para o desenvolvimento de “redes de excelência”, que integraram as atividades dos diversos participantes numa espécie de rede “virtual” e para a criação dos “projetos integrados”, que resultaram em atividades científicas e tecnológicas específicas com elevado valor de conhecimento e impacto socioeconómico.

O 6º PQ visou a integração do Espaço Europeu de Investigação (EEI) e foi estruturado em três complementares programas de ação (Decisão do Parlamento Europeu & Conselho Europeu de 2002, L323/4):

1. Integração do EEI por via de 7 programas temáticos<sup>19</sup>;
2. Estruturação do EEI;
3. Reforço das bases do EEI.

O primeiro consistiu no apoio da I&D em áreas temáticas que encerram em si problemáticas sociais contemporâneas, de que são exemplos o programa “Ciências da vida, genómica e biotecnologia para a saúde”, com o objetivo de explorar os resultados da investigação na promoção da saúde pública e aumentar a competitividade da indústria da biotecnologia, ou o programa “Nanotecnologias, materiais inteligentes e novos processos de produção,” com a finalidade de capacitar as organizações científicas na exploração do mundo macro molecular e suas aplicações na química, saúde e outros sectores.

O segundo foco de ação visou promover a investigação e a inovação europeia, pela transferência de conhecimento científico para as empresas e criação de novas empresas de base tecnológica. No campo da integração, este programa atuou, ao nível dos recursos humanos, incentivando a mobilidade destes pela Europa e atraindo outros de países terceiros, pelas “Ações Marie-Curie”. Foi ainda apoiada a acessibilidade às infraestruturas de investigação pelas partes

---

<sup>19</sup> Ciências da vida, genómica e biotecnologia para a saúde; Tecnologias da sociedade da informação; Nanotecnologias, materiais inteligentes e novos processos de produção; Aeronáutica e espaço; Segurança alimentar e riscos para a saúde; Desenvolvimento sustentável, alterações climáticas e ecossistemas; Cidadãos e governação na sociedade do conhecimento.

interessadas e promovidas ações de incentivo às relações entre ciência e sociedade, como a ética ou o princípio da precaução nas atividades inovadoras.

No que diz respeito ao terceiro foco, o reforço das bases do Espaço Europeu da Investigação consistiu no apoio às ações que promovessem a coordenação dos projetos científicos e tecnológicos nacionais e apoiar o desenvolvimento de políticas públicas que elevassem o grau de inovação da Europa.

Com o ambicioso 6ºPQ em ação e a “Estratégia de Lisboa” em pano de fundo, em 2003, a Comissão Europeia alerta o Conselho Europeu dessa primavera para a importância da inovação no crescimento económico dos estados-membros, admitindo a existência de vários caminhos para a implementação de uma política de inovação; e referindo alguns desafios onerosos para a Europa inovadora, como o alargamento, as tendências demográficas e a dimensão exagerada do sector público europeu (European Commission, 2003a).

A Comissão Europeia reconhece que a inovação se desenvolve sobretudo a nível regional e nacional e dessa forma é imperativo fortalecer a cooperação entre a CE e os estados-membros. Contudo, os objetivos de integração do EEI não estavam a decorrer ao nível exigido; aliás, Robert Boyer (2011) refere que uma das maiores ambiguidades do EEI residia em considerar que as relações entre estados-membros eram mais importantes do que as complementaridades entre as organizações científicas, as instituições económicas, financeiras e sociais, ao nível nacional e local (i.e. Sistemas de Inovação Nacionais e clusters).

Susana Borrás (2015) reforça esta posição, ao afirmar que a “Estratégia de Lisboa” apresentava uma abordagem à mudança institucional muito hierarquizada da coordenação das reformas ao nível nacional, contudo colocando à margem outros atores relevantes do sistema científico e tecnológico, independentemente do executivo governamental em funções.

Na avaliação *ex-post* ao 6ºPQ (European Commission, 2010a), os especialistas concordaram que o Programa foi bem sucedido, em particular na coordenação das políticas científicas entre a CE e estados-membros. Por exemplo, foram sugeridas as iniciativas ERA-NET e as “European Technology Platforms” (ETPs), nas quais a generalidade dos atores da comunidade científica e tecnológica consolidou a sua posição. Contudo, esta avaliação confirma a participação ténue do

setor industrial no PQ; sendo este um instrumento para a inovação, ficou aquém dos objetivos do reforço da capacidade IDT Europeia.

Face às dificuldades de implementação da Agenda de Lisboa, em 2005 a mesma foi redesenhada com alterações significativas nos processos de coordenação e nos planos de ação nacionais. E foi dada maior relevância ao objetivo quantitativo de 3% do PIB para Investigação e Desenvolvimento para o ano 2010 (Comissão Europeia, 2005a).

A Agenda de Lisboa e sua Estratégia culminaram no Tratado de Lisboa em 2007 (ratificado em 2009), que além de reforçar os poderes do Parlamento Europeu, traçou um caminho exigente para a construção do Espaço Europeu de Investigação (e inovação), refletido no artigo 163º, “*A União tem por objetivo reforçar as suas bases científicas e tecnológicas, através da realização de um espaço europeu de investigação no qual os investigadores, os conhecimentos científicos e as tecnologias circulem livremente, fomentar o desenvolvimento da sua competitividade, incluindo a da sua indústria, bem como promover as ações de investigação consideradas necessárias ao abrigo de outros capítulos dos Tratados*” (Tratado de Lisboa, 2007, p. C 306/85).

A par da formulação do Tratado de Lisboa, em 2007 foi implementado o 7ºPQ (2007-2014). Este Programa-Quadro vem consolidar os pilares do espaço europeu de investigação e integrar o desenvolvimento científico e tecnológico nas prioridades estratégicas de crescimento da Europa, como a economia baseada no conhecimento e o emprego qualificado. Ao contrário dos anteriores, a estrutura do 7ºPQ pauta-se por simplicidade de objetivos gerais concentrados nas prioridades da política de investigação europeia (Conselho Europeu, 2006; Parlamento Europeu & Conselho Europeu, 2006).

Este Programa-Quadro, emerge da Comunicação da CE “Building the ERA of knowledge for growth” (European Commission, 2005a) na qual a CE traça as principais linhas orientadoras do novo Programa-Quadro. Este documento reflete a vontade explícita de fazer convergir num triângulo de conhecimento a investigação, educação e a inovação, rumo ao crescimento sustentável da Europa. Com base no Tratado de Lisboa, os estados-membros têm à disposição os recursos financeiros europeus com o objetivo de mobiliza-los para a economia do conhecimento. Neste sentido a CE propôs algumas orientações para o 7ºPQ:

- Consolidar o apoio aos projetos colaborativos transnacionais nas temáticas mais relevantes às políticas públicas europeias;
- Apoiar projetos público-privados de longo prazo orientados para o desenvolvimento tecnológico industrial;
- Reforçar a investigação fundamental da União Europeia;
- Realização ações de apoio ao desenvolvimento de infraestruturas de investigação que superam as capacidades de um único Estado-membro.

Estas orientações estratégicas resultam da coabitação das posições políticas e técnicas de vários atores institucionais, como o Conselho Europeu, o Parlamento Europeu, o Comité das Regiões e Comité dos assuntos Económicos e Sociais. Foram também consultados a comunidade científica, indústria e outros *stakeholders*. Com base nas consultas públicas e posições políticas a Comissão Europeia propôs o 7º Programa Quadro assente em quatro objetivos programáticos adequados aos objetivos da Estratégia de Lisboa.

Os objetivos estratégicos do 7º PQ foram estruturados em quatro grandes categorias de ação: a “Cooperação”, “Ideias”, “Pessoas” e “Capacidades”. Cada uma das categorias é composta por objetivos específicos que vão ao encontro aos diversos domínios-chave da investigação e desenvolvimento (Conselho Europeu, 2006; Parlamento Europeu & Conselho Europeu, 2006).

- O programa “Cooperação” consiste em financiar projetos de investigação de âmbito colaborativo e transnacional. Este programa está organizado em 9 prioridades temáticas relacionadas com setores da atividade económica mais promissores de criar riqueza e emprego<sup>20</sup>.
- O programa “Ideias”, gerido pelo Conselho Europeu de Investigação, destina-se a apoiar as investigações científicas de topo, ou seja, a criação de conhecimento disruptivo que alterem o modo de vida dos cidadãos.
- O programa “Pessoas” contribui para a construção do Espaço Europeu de Investigação, na medida que financia a formação e mobilidade da comunidade científica pelos Estados-membros.

---

<sup>20</sup> i.e., saúde; alimentação, agricultura e biotecnologias; tecnologias da informação e das comunicações; nanociências, nanotecnologias, materiais e novas tecnologias de produção; energia; ambiente (incluindo as alterações climáticas); transportes (incluindo a aeronáutica); ciências socioeconómicas e ciências humanas; segurança e espaço.

- O programa “Capacidades” tem o objetivo principal de capacitar com infraestruturas científicas as regiões com menor desempenho científico e tecnológico, promovendo a formação de redes de inovação nos seus tecidos empresariais e industriais.

Este Programa Quadro é exemplo da vontade da CE simplificar o acesso dos participantes institucionais aos fundos europeus. Desde logo, o Comissário Europeu para a Investigação à data, Janez Potočnik, avançou para um grupo de trabalho constituído pelos diversos serviços da DGRTD. Desse esforço conjunto resultou três princípios para simplificar a implementação do 7ºPQ (European Commission, 2005b) :

1. Flexibilidade, providenciando as ferramentas necessárias para alcançar eficientemente os objetivos do Programa-Quadro;
2. Racionalização, estabelecendo um equilíbrio sustentável entre o risco e o controlo, evitando procedimentos, regras e pedidos que não acrescentem valor e reduzindo os tempos de espera de respostas pelas autoridades;
3. Coerência entre obrigações e direitos, encontro entre objetivos e necessidades, e assegurar em medida do possível os interesses e regras preexistentes dos participantes.

Com o objetivo na construção do Espaço Europeu de Investigação, a estrutura do 7º PQ encontra o seu propósito nas temáticas de investigação e no reforço da coordenação das políticas europeias e nacionais de acordo com a Agenda de Lisboa. É exemplo o Programa “Cooperação”, que pretendeu ajustar os interesses das políticas da UE junto das indústrias europeias, em campos científicos iminentes como a da medicina, nanotecnologia, aeronáutica e transportes ou as alterações climáticas. Neste tipo de iniciativas científicas, a CE procurou a convergência dos interesses da indústria, comunidade científica e autoridades públicas (European Commission, 2005a).

Os Programas-Quadros, em particular o 7ºPQ, remetem-nos para uma perspetiva da inovação alicerçada numa rede colaborativa de instituições e organizações complementares, que procuram emancipar novos campos de investigação, resolução dos problemas sociais, e edificar um Espaço Europeu de Investigação. Em 2011, o relatório intermédio da DGRTD, de avaliação do 7ºPQ, refuta precisamente esta abordagem ao desenvolvimento científico e tecnológico (DGRTD,

2012, p. 33). O relatório é perentório ao afirmar que o Programa-Quadro ditou a agenda da investigação europeia, firmando novos campos de investigação em projetos na biotecnologia, agricultura, alimentação e exploração marinha.

A DGRTD reporta também o papel do 7ºPQ na solidificação do Espaço Europeu de Investigação, ao afirmar que mais de metade dos parceiros em projetos do PQ permanecem associados mantendo a sua coesão em diversos projetos durante longos períodos de tempo. O 7ºPQ também alavancou a produção de ciência de excelência ao contribuir para a produção de artigos científicos de alta qualidade e referencia internacional (DGRTD, 2012).

Em 2015, a CE requereu a um Grupo de Especialistas de alto nível a elaboração de uma avaliação independente ao 7ºPQ com o objetivo de preparar o subsequente (DGRTD, 2015). O relatório considera quatro grandes impactos positivos do Programa-Quadro no desenvolvimento do Espaço Europeu de Investigação: na ciência de excelência; nos sistemas de investigação e inovação; na criação de valor e crescimento económico; e nos cidadãos e sociedade.

O século XXI europeu desperta para uma nova realidade da política pública científica. Se as últimas décadas foram turbulentas, as seguintes enriqueceram a ciência e a inovação europeia. A introdução do 6º e 7º PQ deu aos sistemas científicos europeus o novo impulso de crescimento e dinâmica económica e social.

É no 6º PQ que encontramos uma maior sinergia entre os sistemas nacionais de inovação e as políticas europeias, com o envolvimento de gestores públicos, agências regionais, conselhos de investigação e ministros, na formulação e participação do Programa-Quadro e projetos de investigação. Este PQ-IDT também reflete a expansão da União Europeia, quando limita a participação, em redes de inovação, a um mínimo de três diferentes Estados-membros incluindo Estados-candidatos. Com o objetivo de reforçar a estratégia do PQ, o Conselho Europeu introduziu a “regra dos 15%”, ou seja, 15% do orçamento do PQ deve ser dirigida para Pequenas e Médias Empresas (Andrée, 2009).

O 7º PQ identifica como prioridade o desenvolvimento de redes de inovação com maior relevo em projetos nos quais a participação de Pequenas e Médias Empresas estão bem redimensionadas, que a par das universidades viram os seus fundos financeiros receber um reforço de 75%. O PQ reflete também a implementação do Artigo 169º e o Programa Conjunto, que obriga

a participação mais ativa dos ministros e chefes de Estado na construção do Espaço Europeu de Investigação (Andrée, 2009; European Research Area Comittee, 2010).

Os Programas-Quadro, enquanto promotores de redes de investigação e inovação, refletem sem dúvida o seu papel de instrumentos de uma política comum europeia. Se a era “pré-competitiva” foi marcada por Programas-Quadro com intervenção ao nível de projetos estratégicos de colaboração (i.e. 1º ao 5º PQ), a era “competitiva”, dos 6º e 7ºPQ-IDT, elevaram o patamar de intervenção para o nível da decisão política.

Os Programas-Quadro, como políticas públicas para a ciência e tecnologia, são também reflexo da construção do Espaço Europeu de Investigação. E são fruto, do debate social e político numa mescla de atores socioeconómicos com interesses diretos e indiretos na formação das políticas científicas europeias. John Petersen (2003), refere mesmo que as políticas públicas, são desenvolvidas por um tipo arranjo institucional, entre diferentes atores, incluindo privados e organizações não governamentais. Um processo, a que o autor designa por “Policy Networks”.

O autor vai mais além ao afirmar que a decisão política na Europa, está confinada a um labirinto de comités, que dão forma às políticas públicas, antes destas integrarem os canais institucionais apropriados da decisão política, como Conselho de ministros, Parlamento Europeu e a Comissão Europeia (Peterson, 1995, 2003). Exemplo, são os comités e instituições criadas nos anos 70 (p.e. CREST, ESF), ou mais recente os comités das regiões ou dos assuntos económicos e sociais

Esta resenha histórica contribuiu para identificar os principais marcos no desenvolvimento da ciência e inovação no espaço europeu e seu contributo para construção da União Europeia. Dos primeiros projetos focados em setores das tecnologias de informação às primeiras estruturas intergovernamentais de programação científica e tecnológica, a integração europeia fez-se também de redes transnacionais de colaboração científica, tecnológica e inovação.

A mudança institucional ao longo dos anos está refletida nas alterações verificadas pela introdução de novos paradigmas programáticos da ciência e tecnologia europeia. O período “pré-competitivo”, foi ajustado pelos primeiros Programas-Quadro no quais o foco institucional estava centrado no desenvolvimento de diversos instrumentos para capacitar os estados-membros e os seus sistemas de inovação com as tecnologias fundamentais para a sociedade da informação. Este

período também demonstrou uma alteração significativa nos sistemas de inovação, ao introduzir programas-quadro, nos quais os centros de saber, como universidades e centros de I&D, são elementos preferenciais na implementação das políticas científicas.

O novo paradigma da “era competitiva”, iniciado pelo 6º ao 7º Programa-Quadro, veio impulsionar o desenvolvimento científico e tecnológico, através de instrumentos políticos mais complexos, que permitiram integrar a política científica na integração do espaço europeu. A conjugação das políticas industriais e sociais com as políticas científicas, transformou o ambiente institucional dos sistemas de inovação, preparando-o para o surgimento de novas tecnologias emergentes.

O capítulo seguinte abordará os aspectos conceptuais das tecnologias emergentes e a relevância histórico-institucional da implementação da estratégia europeia para o desenvolvimento do setor emergente da nanotecnologia. Os conceitos de tecnologia emergente e o enquadramento histórico, permitirá compreender o caminho institucional que levou ao desenvolvimento das nanociências e nanotecnologias na Europa, refletidos nos projetos de I&D do 7ºPQ.

## CAPÍTULO 4 - AS TECNOLOGIAS EMERGENTES E O SURGIMENTO DA NANOTECNOLOGIA NOS PROGRAMAS QUADRO IDT

Esta secção pretende introduzir os conceitos de emergência e tecnologias emergentes, com o objetivo de compreender o surgimento da nanotecnologia como prioridade das políticas públicas europeias e nacionais. A secção está organizada em 4 partes, nas quais o conceito de tecnologias emergentes, em particular, a nanotecnologia como área emergente nos sistemas de inovação para o desenvolvimento de políticas científicas e tecnológicas. São ainda abordados a relevância das colaborações científicas como prelúdio das redes de inovação e a institucionalização da nanotecnologia através das políticas públicas europeias.

### 4.1. Introdução do conceito de tecnologias emergentes

O conceito de tecnologias emergentes suscita algum debate como é possível verificar e na literatura especializada e em inúmeros relatórios técnico-políticos. As tecnologias emergentes são fruto da descobertas científicas, com características disruptivas face às tecnologias convencionais, são a “criação destrutiva” apresentada por Joseph Shumpeter nos anos 40, na qual estas tecnologias tomam o lugar das antigas e emergem como novos fatores de competitividade industrial (Lu, 2011).

As “tecnologias emergentes” abrangem o espectro da inovação científica incremental até à radical (Porter, Garner, Carley, & Newman, 2019). Suominen e Newman (2017), caracterizam a emergência tecnológica em quatro fatores dominantes: Novidade; Persistência; Comunidade; e Crescimento. Estes fatores, perfazem um quadro conceptual, para compreender a emergência no contexto das mudanças tecnológicas.

O desenvolvimento das tecnologias emergentes, assenta em diversos domínios de conhecimento científico e requerem integração multidisciplinar na Investigação e Desenvolvimento (I&D), incluindo o fator competitivo industrial. Face a sua complexidade e impacto socioeconómico, prever o futuro da sua evolução é um ato inglório, somente com um grau elevado de incerteza se pode deslumbrar a direção do desenvolvimento tecnológico das tecnologias emergentes (Lu, 2011).

Num artigo recentemente publicado na prestigiada revista *Research Policy*, os seus autores (Rotolo, Hicks, & Martin, 2015), elaboram um revisão sistemática do conceito de “emergência” e tecnologias emergentes. A “emergência” está associada ao conceito de transformação radical da ciência, invocada por Kuhn (1962), nos seus estudos sobre a estrutura das revoluções científicas, em

contraponto ao progresso científico incremental. Remonta nos finais do século XIX com o surgimento do movimento do “proto-emergentismo” associado aos efeitos emergentes da tecnologia química na sua capacidade para a traçabilidade das reações químicas. O segundo, está traduzido no domínio das políticas científicas e tecnológicas como também na gestão e na economia evolucionária (Lewes, 1875; Rotolo *et al.*, 2015) .

O conceito de emergência é abordado com especial interesse na área dos estudos dos sistemas complexos (Rotolo *et al.*, 2015). Numa perspectiva ontológica, os sistemas como um todo, podem partilhar características diferentes das suas partes individualmente. Enquanto epistologicamente, o conceito de emergência, as interações das partes formam as características dos sistemas, ou seja, mecanismos que produzem algo novo (de Haan, 2006) que podemos designar por inovação.

Em suma, o conceito de emergência no contexto dos sistemas de inovação, surge da procura de soluções para os problemas sociotécnicos, através da interação entre as políticas científicas e os seus programas operacionais. As tecnologias emergentes, são externalidades destes sistemas complexos de inovação (Katz, 2006; Rotolo *et al.*, 2015).

Os estudos de Rotolo *et al.* (2015), revelam que as tecnologias emergentes (TEs) tem atributos próprios, que se destacam das demais tecnologias. Os autores referem 5 atributos: a novidade radical ou inovações radicais; a sua natureza de crescimento rápido; a coesão científica sustentável; abrangente com impacto em diversos setores industriais e socioeconómicos; impacto proeminente no futuro com alguma incerteza e ambiguidade.

No domínio das políticas científicas e tecnológicas as TEs, são definidas como tecnologias que, apesar de estarem em estágios de desenvolvimento iniciais e face às suas características únicas, tem um potencial de aplicação em diversos setores da atividade socioeconómica. E merecem, não só a sua onerosa classificação de TEs, como também a sua reflexão, por parte dos decisores com horizontes temporais a longo prazo (Boon & Moors, 2008; Porter, Roessner, Jin, & Newman, 2002; Rotolo *et al.*, 2015; Stahl, 2011).

#### 4.2. A nanotecnologia como tecnologia emergente

Para determinadas tecnologias emergentes, nomeadamente as mais disruptivas com maior influência na sociedade, é pertinente a reflexão política e sociotécnica destas tecnologias na sua fase

inicial de investigação. Boon e Moors (2008), sugerem a avaliação da qualidade do impactos futuros (negativos e positivos) nesta fase das tecnologias emergentes. Os autores dão como exemplo, a investigação na área da biomedicina, em particular no desenvolvimento da farmacogenética e fármacos órfãos e os seus impactos socioeconómicos, legais e éticos.

A nanotecnologia como ciência multidisciplinar e de potencial impacto generalizado na sociedade moderna, apresenta diversas características, das quais se pode classificá-la como uma tecnologia emergente (Bainbridge, Montemagno, & Roco, 2003; Battard, 2012; Krsto Pandza, Wilkins, & Alfoldi, 2011).

Bozemam, Larebo & Mangematin (2007), numa edição especial da revista científica *Research Policy*, definem a nanotecnologia como uma tecnologia emergente e referem-na como uma tecnologia de elevado impacto na indústria e na sociedade em geral. Os autores, vão mais longe ao evidenciarem o potencial convergente da Nanotecnologia, com a Biotecnologia, Tecnologias da Informação e Comunicação e das Ciências Cognitivas (NBIC).

Esta convergência tecnológica, reflete não só a capacidade inovativa da nanotecnologia, mas como também o seu ímpeto no desenvolvimento de uma nova indústria. Recuperando a visão da destruição criativa de Shumpeter (2010), a nanotecnologia redefinirá as indústrias existentes em novas combinações, criando novas fronteiras para a inovação industrial.

Bozeman *et al* (2007), refere ainda que a dinâmica industrial das nanotecnologias emergentes, depende da forma como a investigação científica nesta área está organizada. A produção de conhecimento inovativo é resultado de complementaridades entre a interdisciplinaridade, tecnicidade e a natureza institucional dos atores. Pode-se afirmar que o processo de inovação em nanotecnologia é definido pela agregação de diversas ciências, é impulsionado pela infraestrutura técnico-científica existente e formatada pelas ligações entre atores socioeconómicos de diversas origens institucionais (e.g. Universidades, empresas, centros de I&D).

Focando na natureza institucional destes atores, Bonaccorsi e Thoma (2007), distingue a importância e a natureza da complementaridade na produção de conhecimento entre as ciências fundamentais e as tecnologias emergentes. Nas primeiras, as complementaridades surgem das grandes infraestruturas tecnológicas, enquanto nas últimas, brotam diversidade do capital humano e

da interdependência dos atores, caracterizados pela sua natureza institucional (e.g. universidade, indústria).

Os autores (Bonaccorsi & Thoma, 2007) concluem ainda, que os sistemas de inovação em nanotecnologia, caracterizados por um elevado grau de complementaridade institucional, proporcionam externalidades económicas, científicas e inovadoras para as comunidades epistémicas e sociedade em geral.

Como refere Bozeman et al (2007), a natureza institucional dos atores tem importância no desenvolvimento de tecnologias emergentes. Quer seja, pelas “ligações interinstitucionais”, quer pelo ambiente institucional de investigação científica. Os autores dão como exemplo, o papel relevante da academia nos sistemas regionais de inovação em particular na formação de clusters tecnológicos, em áreas como a biotecnologia em São Francisco (i.e. Universidade Califórnia) ou a nanotecnologia em Grenoble, França e Twente na Holanda.

Roco, Montemagno e Bainbridge (2003) enumeram quatro campos científicos emergentes de rápido crescimento e com elevado impacto no desenvolvimento e progresso da humanidade a que intitulam de “tecnologias convergentes”: a nanociência e nanotecnologia; a biotecnologia e biomedicina; as tecnologias de informação; e a ciência cognitiva (i.e. neurociência). Os autores consideram que, a convergência destas quatro tecnologias emergentes, podem acelerar o progresso científico e social das sociedades modernas. Igualmente importante para a compreensão da nanotecnologia é a análise da microelectrónica e das diferentes instituições que mobilizaram e promoveram o desenvolvimento da tecnologia electrónica (Choi e Mody, 2009). A história recente de empresas americanas, como a Westinghouse e a IBM, em associação com os laboratórios navais (Naval Research Laboratory) disputaram avanços na indústria de semicondutores.

A projeção das TEs, como a nanotecnologia na industrialização das atividades socioeconómicas é resultado da relação funcional entre os fluxos de informação, trabalho e capital de todos os participantes no processo de desenvolvimento das TEs. Na perspectiva sistémica, cada participante do sistema (p.e. sistema nacional de inovação) tem o seu papel bem definido e limitado às suas funções, interagindo com os restantes por via de parcerias ou ações coordenadas para atingir os objetivos socioeconómicos específicos (Huang & Lu, 2009).

A nanotecnologia como sector industrial ou tecnológico é alvo de abordagem sistémica por diversos autores (Islam & Miyazaki, 2008; Miyazaki & Islam, 2007; Pandza & Holt, 2007). São reflexões que conjugam vários pontos de vista complementares à compreensão do fenómeno e das dinâmicas, produzidas pelos atores sociais, económicos e institucionais no desenvolvimento das nanotecnologias.

A nanotecnologia reúne em si vários campos científicos que têm em comum a prática científica à escala nano<sup>21</sup>. Islam e Miyazaki (2008), confirmam a tendência de as ciências fundamentais, como a física, química, biologia, se fundirem e surgirem como ciências multidisciplinares. A inovação neste campo não está confinada somente à ciência dos “pequenos” materiais; o seu impacto abrange áreas de investigação e produção, da biotecnologia às TICs. O sector da nanotecnologia tem hoje em dia a função de ser o mote para a investigação científica e ao mesmo tempo um elemento de convergência de várias ciências.

Os autores (Islam & Miyazaki, 2008) apresentam análises sectoriais dos sistemas de inovação, nas quais identificam os principais atores sociais e económicos numa rede global. Pode-se verificar nos seus trabalhos, que as universidades, os centros de investigação e as empresas comerciais são os principais atores para o desenvolvimento da investigação nas nanotecnologias. Afirmam que nesta corrida global, a organização dos sistemas de inovação é fator de competitividade e diferenciação entre países e regiões.

Na Europa os esforços para a I&D são feitos sobretudo pela comunidade académica, nomeadamente as universidades e os centros de investigação públicos. Por outro lado, em países como os EUA e o Japão, são as empresas e o meio industrial, os que mais apostam, em I&D para a nanotecnologia. Na análise temporal (1990-2004) a Alemanha, França, Reino Unido e a Itália são os países europeus líderes na produção científica para a nanotecnologia, mas de uma forma geral estes países colaboram entre si, na produção de conhecimento, desenvolvendo parcerias entre os seus sistemas de inovação (idem).

Para estes autores (idem), os sistemas tecnológicos de inovação na nanotecnologia são constituídos por quatro tipos de atores sociais e económicos: as empresas já estabelecidas no mercado, no qual a nanotecnologia não é muito relevante; *start-ups* em que o principal negócio assenta na nanotecnologia; as universidades, envolvidas na I&D e que são elemento primordial no

---

<sup>21</sup> Considera-se escala nano dimensões 10<sup>-9</sup> metros

desenvolvimento desta tecnologia; e os mediadores de conhecimento ou transferência de tecnologia, que são os intermediários e facilitadores dos fluxos entre os diversos atores do sistema de inovação.

Nos estudos empíricos de Krsto Pandza e Robin Holt (2007) é utilizada a abordagem dos sistemas tecnológicos para caracterizar os fluxos de conhecimento existentes entre os diversos atores do sector das nanotecnologias. Da análise Delphi<sup>22</sup>, os autores referem alguma ambiguidade entre quem tem ou não conhecimento em nanotecnologias, relativamente à implementação futura de processos de nano-industrialização. Identificaram ainda que as principais barreiras para a inovação neste sector são: a viabilidade técnica, a falta de financiamento em I&D, viabilidade económica, educação e qualificações e a aceitação social.

No caso do sector da nanotecnologia portuguesa, as fronteiras do sistema de inovação do sector não acompanham as fronteiras do país. Num estudo recente sobre a participação portuguesa no 7º Programa-Quadro Europeu (Abreu, 2014), verifica-se que as redes que compõem o sector da nanotecnologia português são constituídas por diferentes atores económicos e institucionais, como universidades, centros de investigação públicos e privados de vários países europeus, nomeadamente da Alemanha, Itália e Espanha. Estas redes têm como base o desenvolvimento de produtos de base tecnológica em que empregam o conhecimento e processos da nanotecnologia.

No mesmo estudo, são identificados como elementos de difusão de conhecimento as universidades (p.e. Universidades de Aveiro e IST), e mediadores dos sistemas tecnológicos, tais como a Fundação para a Ciência e a Tecnologia, e o Laboratório Internacional Ibérico de Nanotecnologia. Este último assume um lugar de importância a par das empresas, como o que mais influencia a rede do sistema tecnológico de inovação.

Sendo um campo emergente e extenso, diversos autores referenciam a nanotecnologia como um setor, sem precedentes e de grande impacto social e económico (Allhoff *et al.*, 2007; Bhat, 2003), como uma tecnologia de utilidade geral, na definição de Bresnahan (Timothy & Manuel, 1995), caracterizada por criar e promover oportunidades transversais a toda a sociedade. Dos cientistas a engenheiros, das empresas menos tecnológicas às *start-ups* empreendedoras, dos consumidores aos decisores políticos, a nanotecnologia é uma tecnologia de convergência institucional e produção de inovação.

---

<sup>22</sup> Os autores elaboraram uma série de entrevistas a diversos especialistas em inovação industrial e responsáveis de produção industriais.

São raros os estudos que cruzam as teorias institucionalistas e o desenvolvimento da nanotecnologia. Pode-se encontrar alguns estudos de inovação e tecnologias emergentes fundamentados na teoria das Variedades do Capitalismo.

Herrmann e Alexander Peine (2011) caracterizam os Sistemas de Inovação dos países europeus, segundo as relações entre o meio acadêmico e o sector empresarial, em particular as qualificações da força de trabalho e o tipo de inovação praticada nas empresas. Segundo os autores, esta matriz organizacional promove três tipos de produtos: inovadores radicais, incrementais e sem inovação. Apesar de encontrarmos uma perspectiva institucional nestes estudos, os autores (Herrmann & Peine, 2011), adotaram uma análise centrada na organização interna das empresas, concluindo que as empresas para serem mais inovadoras (i.e. produtos inovadores radicais e incrementais) devem incluir na sua força de trabalho, indivíduos com maior qualificação como cientistas. Contudo, não referem outras externalidades do ambiente institucional, como os efeitos dos arranjos institucionais.

Ao nível da inovação regional, encontramos estudos que procuram explorar a relação entre as universidades e o sector industrial pela via do estudo de projetos de I&D em diferentes regiões finlandesas (Srinivas, Kosonen, Viljamaa, & Nummi, 2008). Os autores encontraram evidências de que as implementações destes projetos são influenciadas pelas políticas públicas locais.

No âmbito das relações entre o mundo académico e empresarial Toke Bjerregaard (2009) explora interpretações para os fenómenos de interação entre cientistas, nomeadamente os conflitos e convergências institucionais, nos projetos de I&D conjuntos, entre os departamentos de investigação universitários e industriais.

As relações entre atores do sistema de inovação são também abordados por Nina Granqvist (2007), numa coletânea de ensaios sobre o empreendedorismo no campo da nanotecnologia. A autora utiliza o conceito de empreendedorismo institucional para explicar o envolvimento cognitivo, organizacional e espacial dos atores presentes neste campo “embrionário” da ciência. No seu trabalho, apresenta dois estudos de caso comparativo entre a nanotecnologia e os alimentos funcionais, que exemplificam os diferentes níveis de processos alavancados pela emergência dos seus campos de estudos.

Este conjunto de ensaios contribui extensivamente para compreender o papel da agência na abordagem institucionalista nos campos da tecnologia emergente. Para os autores (Granqvist & Kaupparkeakoulu, 2007), a capacidade dos atores influenciarem e facilitarem o desenvolvimento do seu ambiente institucional (p.e. setor da nanotecnologia) é moldada pelas suas competências e posições nesse contexto institucional, que resultam de diferentes formas de agência, respetivamente, conceptual, política e social

Um outro estudo (Auplat, 2009), parte do pressuposto empreendedorismo institucional, para criar um quadro conceptual que explique o processo da emergência institucional e industrial no setor da nanotecnologia. O novo-institucionalismo proclama que as instituições cooperam entre si para sobreviverem em determinado ambiente. Os autores revelam que a emergência institucional neste campo tecnológico resulta das interações combinadas de 5 grupos específicos de atores institucionais: os empreendedores, comentadores, consumidores, cientistas e decisores políticos.

A emergência do campo da nanotecnologia é retratada por outros autores na convergência dos estudos culturais e produção de conhecimento (Wry, Greenwood, Jennings, & Lounsbury, 2010). Nos seus estudos procuram “reanimar” a análise institucional, olhando para a dinâmica de produção e disseminação de conhecimento, em particular, no caso do desenvolvimento de nanotubos. Os autores encontraram evidências que sugerem a existência de culturas institucionais distintas entre comunidades científicas.

Os resultados da suas pesquisas (Wry *et al.*, 2010), revelam que as regiões possuem distintas formas de produção de conhecimento, originam culturas científica que influenciam o tipo de patentes que produzem na área da nanotecnologia, em particular os nanotubos. Os autores, identificaram dois tipos de comunidades científicas: as pertencentes, a regiões com elevada influencia das universidades de elite, que originam domínios tecnológicos com uma orientação para a ciência “fundamental”; e das regiões com influencia de universidades de “segunda linha”<sup>23</sup>, que tendem a criar domínios tecnológicos de uma ciência mais “aplicada”.

Recentemente foram publicados alguns estudos comparativos entre países, com o foco nas formas institucionais de desenvolvimento da nanotecnologia. Nadine Hoser (2013) compara o financiamento público das redes de I&D nos EUA e na Alemanha. Com base nos modelos baseados em agentes, a autora analisa o impacto deste tipo de financiamento na difusão da inovação em

---

<sup>23</sup> Os autores definem as universidades de “elite” e “segunda linha” segundo o Academic Ranking of World Universities (ARWU) da Shanghai Jiao Tong University.

nanotecnologia. Conclui que a forma de financiar investigadores tem impactos diferentes na difusão de novas tecnologias na academia, em especial nos EUA, no qual os cientistas principais, têm um papel importante na decisão de financiamento; no caso alemão, estes efeitos não são significativos.

Para a autora (Hoser, 2013), o papel dos “nano cientistas” com maior relevo no panorama científico influenciam de uma forma indireta a distribuição do financiamento federal, por outras palavras, os investigadores que são mais citados e com obras relevantes, são uma vantagem competitiva para os projetos que integram, no momento de decisão do financiamento dos mesmos.

Johannes Eijmberts (2013) foca também no seu estudo a função das instituições governamentais no apoio ao desenvolvimento da nanotecnologia, comparando os EUA e a Holanda, na sua dimensão, forma e prioridades políticas. O autor afirma que o apoio dos governos nacionais ao desenvolvimento da nanotecnologia, assenta nos arranjos institucionais e estruturais de longo prazo. Se por um lado nos EUA, o apoio é coordenado centralmente pela NNI,<sup>24</sup> que proporciona um ambiente pluralista para os arranjos institucionais, na Holanda, esse apoio é criado pela longa prática corporativista das suas instituições, incluindo a relação cada vez mais importante com o governo, nomeadamente em projetos de alto risco e investimento.

Outros autores (Gupta, Fischer, George, & Frewer, 1838), revelam o papel dos especialistas na introdução de aplicações nano tecnológicas no mercado e o seu impacto social. O estudo comparativo contempla a análise de diferentes ambientes tecnológicos, cultura de consumo e regimes regulatórios, em regiões como América do Norte, Europa, Austrália e vários países asiáticos. Os autores referem que o ponto de vista destes especialistas, relativamente à aceitação social dos novos nano-produtos, pode ser homogéneo, independentemente dos fatores contextuais dos locais.

Julia Metag (2013) estuda os impactos dos *media* na sociedade no contexto das tecnologias emergentes. O seu estudo compara a cobertura jornalística da nanotecnologia na Áustria, Suíça e Alemanha. Apesar da existência de uma ideia negativa sobre o progresso científico no seio da comunidade jornalística, a cobertura das notícias sobre a nanotecnologia é positiva. A hipótese levantada sobre alguma tecnofobia jornalística e o preconceito negativo não é suportada pela cobertura mediática da nanotecnologia.

---

<sup>24</sup> Do inglês National Nanotechnology Initiative

A literatura referenciada demonstra o quanto é incipiente a produção de conhecimento em sectores tecnológicos emergentes. No que respeita à nanotecnologia, pode-se resumir, à visão do empreendedorismo institucional e ao papel das instituições no desenvolvimento do ambiente propício à investigação académica, transferência de conhecimento e regulação do mercado.

A seção seguinte, pretende abordar as mais recentes teorias institucionalistas que podem contribuir para a construção de um modelo empírico de análise institucional aos sistemas de inovação, originados pelas políticas públicas europeias e nacionais, para a ciência e tecnologia, em particular no setor da nanotecnologia.

#### 4.3. A relevância das colaborações na União Europeia e no Programa Quadro

Na perspetiva dinâmica dos sistemas, os participantes alteram o seu status, face às dinâmicas dos fluxos entre participantes, ajustando o seu investimento em I&D para manterem a competitividade económica e industrial (Huang & Lu, 2009). Esta dinâmica dos sistemas dos fluxos associados às TEs, criam redes complexas de inovação, um exemplo crítico, são as redes de projetos de I&D dos Programas Quadro da União Europeia.

Ao longo das últimas décadas foram implementadas políticas científicas e tecnológicas europeias através de instrumentos como os Programas Quadro (PQ). O objetivo destes PQ é criarem condições para a existência de fluxos de conhecimento entre os estados-membros, para desenvolverem capacidades competitivas e industriais através da inovação e em muitos casos, em Tecnologias Emergentes.

As políticas tecnológicas, surgidas dos PQ representam o esforço das instituições europeias, nomeadamente a Comissão Europeia, na orientação do desenvolvimento de redes de investigação, com o objetivo de criarem conhecimento de valor acrescentado, inovação de ponta e promover a difusão das melhores práticas de I&D com os restantes atores socioeconómicos (Breschi & Cusmano, 2003).

Uma das características é a diversidade científica e institucional nas redes de colaboração promovidas pelos PQ (Pandza *et al.*, 2011). A política científica europeia tem demonstrado a capacidade intervir em mudanças institucionais, através dos PQs como “arquitetos” institucionais, que implementam normas, regras e valores para o desenvolvimento de redes científicas pan-

européias de diversidade institucional em nanotecnologia (Hargrave & Van De Ven, 2006; Krsto Pandza *et al.*, 2011).

As evidências sugerem que os arranjos institucionais europeus estão a produzir maior diversidade nas redes inovação, exigindo dos seus participantes uma maior coordenação dos fluxos de conhecimento e tecnologia no contexto nacional e internacional. A introdução de estratégias de coordenação podem estabilizar e promover a difusão dos benefícios científicos e tecnológicos entre os participantes das redes de inovação em nanotecnologia, em última estância, reforça a coesão dos sistemas nacionais de nanotecnologia (Pandza *et al.*, 2011).

Michael Bauer (2015), refere que a cooperação entre os estados-membros da União Europeia é um sistema administrativo e político multinível, caracterizado por inovação institucional, por integração de uma fragmentada organização, bem como mudanças institucionais, que permitem aos sistemas políticos adaptarem-se as conjunturas socioeconómicas, culturais e de mudanças tecnológicas. Susana Borrás (2016), numa abordagem aos estudos sobre avaliação das políticas científicas europeias, refere que os programas de Investigação e Desenvolvimento (e.g. Programas Quadro) como sistemas complexos que devem ser analisados numa perspetiva sistémica multinível (e.g. micro, meso e macro).

Os Programas Quadros, em particular o 7º PQ é exemplo de cooperação entre os estados-membros, para fazer face aos desafios científicos e tecnológicos da União Europeia. É constituído por uma estrutura político-científica complexa, que permite os sistemas nacionais de inovação selecionarem as estratégias apropriadas, para solucionarem os seus problemas socioeconómicos.

A política científica europeia, através dos seus instrumentos políticos (i.e. Programas Quadro), contribuem para o aparecimento de sistemas de inovação complexos, para dar resposta aos desafios científicos e tecnológicos da sociedade. Desafios estes, onde emergem tecnologias de carácter mais complexo, exibindo características de adaptação, auto-organização e emergência (Rotolo *et al.*, 2015) face à sua envolvente social e institucional. A auto-organização, requer uma panóplia de atores, organizações e indivíduos que participam no processo de emergência tecnológica, nomeadamente em redes de colaboração científica nos sistemas nacionais de inovação. O papel destes atores na dinâmica do processo de inovação, tem sido abordado por diversos estudos (Suominen, Peng, & Ranaei, 2019).

O esforço europeu para promover a colaboração científica entre os estados-membros, é fruto de um conjunto de políticas científicas, tecnológicas e económicas que surgem da necessidade de adaptar a sociedade europeia aos desafios das tecnologias emergentes como a nanotecnologia. Estes são desafios complexos e onerosos para as comunidades científicas nacionais enfrentarem isoladamente. Os Programas Quadros (PQ) espelham o esforço europeu para desenvolver a investigação científica e tecnológica em áreas emergentes, como a nanotecnologia.

A secção seguinte pretende abordar o desenvolvimento institucional das políticas públicas europeias para o setor da nanotecnologia, através de uma revisão histórica dos momentos associados aos PQ e análise documental das políticas e dos seus intervenientes. A pertinência de uma análise mais aprofundada de cada política pública é relevante, contudo para os objetivos desta investigação, a identificação dos atores e da sua política contribuem para enquadrar a nanotecnologia como tecnologia emergente face aos desafios da Europa ao longo da sua construção.

#### 4.4. As políticas europeias para a nanotecnologia

Se a introdução da máquina a vapor, durante a revolução industrial, promoveu o crescimento e riqueza das nações, também o século XX se mostrou um período extraordinário para o desenvolvimento da inovação tecnológica. O advento da eletricidade e os desenvolvimentos industriais na construção automóvel trouxeram mobilidade às populações, o surgimento da microeletrónica permitiu aparecimento dos computadores, que no final do século passado, marcaram o início da grande transformação social, influenciada pelas tecnologias de informação e comunicação (TICs).

Atualmente, a sociedade é marcada pelo progresso das TICs, em particular pela internet, mas a globalização não se resume a este tipo de inovação. Outras tecnologias surgiram, através da capacidade de miniaturização dos materiais e a sua manipulação ao nível dos átomos. A nanotecnologia, por exemplo, é considerada por muitos como a próxima revolução tecnológica global (Anton, Silberglitt, & Schneider, 2001; Roco, Williams, & Alivisatos, 2001; Tuncel, 2015). Como ciência de elevado potencial, a corrida à nanotecnologia é global. São muitos os países que investem milhares de euros em infraestruturas e formação dos mais talentosos cientistas e engenheiros.

O sector da nanotecnologia tem sido foco de interesse de diversos governos, indústrias e nações (Bhat, 2003). Cada país tem introduzido nos seus sistemas de inovação fatores sociais e económicos que promovem o desenvolvimento desta tecnologia emergente. Do continente Europeu aos EUA, da América do Sul à Ásia, a corrida à nanotecnologia é global. Praticamente, todas as regiões do mundo estão envolvidas em projetos industriais e de investigação nas N&N.

Na Europa, as políticas para a nanotecnologia surgiram desde logo nos primeiros Programas-Quadro, nomeadamente no 4º PQ durante o período de 1994 a 1998. Foram um pouco mais de 80 projetos de redes colaborativas, envolvendo cerca de 30 milhões de euros ao ano, para investigar e desenvolver soluções e novos materiais, por via de subprogramas como, os Brite-Euram, Esprit, SMT, BioMed, Biotech (European Commission, 2003b; Malsch, 1999). Apesar do investimento considerado, os números de projetos refletem uma Europa pioneira no desenvolvimento da nanotecnologia, influenciada pela promessa e impacto socioeconómico (Malsch, 1999; Tomczyk, 2014:183).

O 5º PQ (1998-2002) viu o seu orçamento para a nanotecnologia crescer para os 45 milhões de euros anuais. Projetos temáticos demonstraram ser proeminentes, como os das ciências da vida (em particular direcionados para a saúde humana), em destaque, 17 projetos colaborativos em nanobiotecnologia. Outros projetos, no âmbito da sociedade da informação, aproximadamente 70 em nano e microeletrónicas, 60 no âmbito do crescimento e competitividade das empresas, e 4 na área da energia, ambiente e sustentabilidade. A maior parte destes projetos foram compostos por consórcios de 4 a 10 parceiros, dos quais 50% pertenciam ao setor industrial de 3 a 6 estados-membros (European Commission, 2003b).

No final dos anos 90 surgiram diversas iniciativas de carácter interdisciplinar para a investigação e desenvolvimento das nanociências. Algumas destas surgiram da capacidade dos estados-membros se organizarem em ações promovidas pelo *European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research*, ou “COST Actions”. O “COST” permitiu desenvolver uma série de ações de cooperação ao nível académico e industrial com o objetivo de avaliar os esforços dos estados-membros no âmbito pré-competitivo da investigação em nanociência e nanotecnologia.

Em meados do ano 2000, nos primeiros plenários do órgão consultivo para a nanotecnologia (NanoSTAG), foram discutidos pelos estados-membros, os mais recentes desenvolvimentos das políticas do governo dos EUA, a coordenação das ações do COST no 5º PQ e as atividades da European Science Foundation. Este órgão consultivo criou dois grupos de trabalho temáticos para apoio à decisão política: o NANOFORUM e o NANOFuture.

O NANOFORUM foi programado, inicialmente, em 1998 pela Associação de Engenheiros Alemães (VDI) <sup>25</sup> com fundos europeus e mais tarde integrado nas atividades do NanoSTAG. O objetivo principal do NANOFORUM, consistiu em estimular e coordenar horizontalmente a investigação interdisciplinar das nanociências (NanoSTAG, 2003). O “fórum” integrou diversos participantes de 15 estados-membros, muitos desses, representantes do NanoSTAG, dos subprogramas do 5ºPQ, como o Quality of Life, Information Science and Technology e GROWTH e ainda da EUSPEN<sup>26</sup>, VDI e Universidade de Nottingham.

Neste consórcio institucional, os seus participantes acordaram em disponibilizar toda a informação de suporte às redes pan-europeias de nanotecnologia. A informação era distribuída por uma plataforma digital, com o objetivo de adequar toda a comunidade, com dados essenciais para as candidaturas aos Programas-Quadro, nomeadamente o subprograma GROWTH (NanoSTAG, 2003). No apoio às políticas públicas europeias, o NANOFORUM contribui com diversos relatórios (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 - Lista concisa de relatórios de apoio às políticas públicas europeias para as nanociências

Relatórios	Data	Contributos para as políticas públicas
"Nanotechnology in the Candidate Countries"	Março 2004	Informar os estados-membros e designados <i>stakeholders</i> do estado de arte da I&D em nanociência e nanotecnologia dos estados candidatos à integração europeia em 2004.
Nanotechnology and its Implication for the Health of the EU Citizen	Dezembro 2003	Espelhar o mercado da saúde, em particular os desenvolvimentos e impactos da nanotecnologia nos setores farmacêuticos e médico.
Benefits, Risks, Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnology	Junho 2004	Alertar os estados-membros para os efeitos colaterais da nanotecnologia, em particular os riscos para a saúde humana. Contributo para o 6ºPQ no que concerne aos princípios éticos e regulatórios para a I&D.
Nanotechnology in the EU ? Bioanalytical and Biodiagnostic Techniques	Setembro 2004	Levantamento do estado da arte da nanotecnologia e dos principais atores a operarem no setor farmacêutico e de

<sup>25</sup> Verein Deutscher Ingenieure (VDI)

<sup>26</sup> European Society for Precision Engineering and Nanotechnology

		saúde.
Outcome of the Open Consultation on the European strategy for nanotechnology	Dezembro 2004	Consulta pública junto dos vários <i>stakeholders</i> da indústria à estratégia europeia para a nanotecnologia.
Education Catalogue for Higher Education in Nanotechnology	Março 2005	Levantamento dos programas educativos na área da nanotecnologia e nanociências (N&N) nos estados-membros associados participantes. Países como a França, Alemanha e Reino Unido lideram na formação em N&N.
European Nanotechnology Infrastructure and Networks	Julho 2005	Levantamento das infraestruturas existentes de apoio à investigação da nanotecnologia. Foram identificadas aproximadamente 241 centros de I&D nos 28 estados-membros.
Funding and Support for International Nanotechnology Collaborations	Dezembro 2005	Identifica os recursos financeiros dedicados à I&D em nanotecnologia presentes em várias regiões do globo,
Nanotechnology in Agriculture and Food	Abril 2005	Enquadramento das questões éticas, regulatórias e de segurança da nanotecnologia na indústria agroalimentar.
Nanotechnology and Construction	Novembro 2006	Desenvolvimentos inovadores da nanotecnologia no setor da construção civil, nomeadamente a introdução de nanopartículas em materiais de construção.

Fonte: Website Cordis (2012), NANOFORUM

O NANOFuture, em quase tudo idêntico ao anterior grupo, consistiu em promover a criação de workshops internacionais e interdisciplinares para a investigação fundamental em nanociências. O objetivo principal destes workshops consistiu em responder às questões mais pertinentes e com maior impacto no desenvolvimento das disciplinas científicas e de engenharia (NanoSTAG, 2003). Esta era uma ação COST, mas ao contrário da anterior, prolongou a sua atividade até ao 7º Programa-Quadro, abrindo-se também à participação a países terceiros como o Brasil, Chile ou República Dominicana.

Foi neste último Programa-Quadro que o NANOFuture viu o seu propósito evoluir para uma plataforma multidisciplinar à escala europeia. Atualmente a abordagem institucional do *NANOFutures Initiative*, consiste em identificar as atividades “nano” estratégicas e enquadrá-las num quadro intersectorial, por outras palavras, conciliar os grupos de trabalho temáticos e os representantes da European Technology Platforms de forma sustentável (NANOFutures, 2017b; NanoSTAG, 2003).

A contribuição do NANOFuture, para as políticas europeias de nanotecnologia, passa pela disponibilidade de informação crucial, como também, pelos projetos comunitários em que participa, envolvendo os vários *stakeholders* do setor. São diversos os relatórios e documentos emitidos pelo NANOFuture, contudo, destacam-se os *RoadMaps*, os relatórios de avaliação e monitorização do 7ºPQ, bem como, as recomendações para uma I&D responsável em nanociências e nanotecnologia (NANOFutures, 2017a) .

Os grupos de trabalho anteriormente assinalados em muito contribuíram para o reforço da colaboração científica e tecnológica na área das N&N. Foram os primeiros passos para integração das diversas instituições de I&D e da indústria europeia, e sem dúvida, os seus contributos forma essenciais na construção do Espaço Europeu de Investigação e o ponto de partida para a Comissão Europeia lançar o grande Plano de Acção 2005-2009 para as Nanociências e Nanotecnologias.

A nanotecnologia é nesta altura um assunto prioritário entre os estados-membros e no seio da Comissão Europeia. Os seus impactos na vida dos cidadãos europeus, quer nos produtos comercializados ou consumidos, como nas políticas de saúde e proteção ambiental, não passam despercebidos aos decisores políticos europeus. Em particular o Comissário Philippe Busquin, que em 2000, numa carta enviada ao grupo de trabalho NanoSTAG, reconhece a “nanotecnologia como uma tecnologia chave para o século XXI” permitindo que as empresas europeias permaneçam competitivas no mundo globalizado (NanoSTAG, 2003).

As primeiras políticas estratégicas para o setor da nanotecnologia, surgem inicialmente com o comunicado da Comissão Europeia “Towards a European Strategy for Nanotechnology” em 2004 (European Commision, 2004) e mais tarde com o Plano de Acção 2005-2009 para as Nanociências e Nanotecnologias, o *Plano de Acção N&N*, da Comissão Europeia (European Commision, 2004). Com este plano, foram definidos os objetivos e os principais caminhos, para colocar a Europa na liderança de I&D neste setor e assim evitar o designado “Paradoxo Europeu”, referenciado na Estratégia de Lisboa.

O *Plano de Acção N&N* consistiu no levantamento do estado da I&D na Europa e nos restantes países. Foram propostas ações, de investimento e coordenação de I&D, de desenvolvimento de infraestruturas de I&D competitivas, na promoção da educação e formação, no garantir condições à transferência de tecnologia para a indústria, e não menos importante, o cautelar dos riscos e impactos sociais como prioridade na I&D da nanotecnologia (Comissão Europeia, 2005b). Preocupações refletidas também pelo Conselho Europeu (Conselho Europeu, 2004, p.17):

*“O conselho da União Europeia, reconhece a importância fundamental e as potencialidades das nanociências e das nanotecnologias em diversos domínios, tais como os cuidados de saúde, as tecnologias da informação, as ciências dos materiais, o fabrico, a instrumentação, a energia, o ambiente, a segurança, o espaço e, conseqüentemente, o seu significado para a qualidade de vida, o desenvolvimento sustentável e a competitividade da indústria europeia.”*

As principais estratégias políticas para a implementação do *Plano de Acção N&N* tiveram início com o 6º Programa-Quadro (2002-2006), no qual a Comissão Europeia disponibilizou cerca de 1,4 mil milhões de euros, para meio milhar de projetos. Assim subiu a Europa a posição de topo nos investimentos em nanotecnologia, representando no total um quarto do investimento global nesta área científica durante o período de 2004 a 2006 (DGRTD, 2009; European Commission, 2002).

As políticas públicas para o desenvolvimento da nanotecnologia vieram acompanhadas quer por políticas induzidas pelas instituições europeias, quer unilateralmente pelos estados-membros. Tal como a Comissão Europeia, o Conselho Europeu, o Parlamento Europeu e o Comité Económico e Social Europeu elaboraram as suas opiniões e determinações politico-legais, para o desenvolvimento científico e tecnológico das nanociências e nanotecnologias no espaço europeu. O Anexo A, resume as diversas comunicações e políticas públicas das principais instituições europeias.

A principal instituição com funções executivas é a Comissão Europeia e bem cedo os seus responsáveis identificaram a necessidade de implementar políticas dirigidas para o desenvolvimento da nanotecnologia europeia. A primeira Comunicação da CE para este setor surgiu em 2004 com a apresentação do “Towards a European strategy for nanotechnology”. Este documento de âmbito

estratégico lançou as primeiras diretrizes para a implementação de políticas concretas no âmbito das nanociências e nanotecnologias.

Apesar das orientações estratégicas estarem em cima da mesa as políticas para nanotecnologia europeia começam a ter os seus efeitos com a implementação do “Action Plan 2005-2009”. Este plano de ação consistiu na materialização das estratégias promovidas no documento anterior. O plano foi orientado para promover e complementar as políticas nacionais dos estados-membros e delineou oito linhas de investimento estratégico, suportadas em grande parte pelo 6º e 7ºPQ.

Tendo subjacente a estrutura dos Programas Quadro, a política pública para a nanotecnologia plasmada neste Plano de Ação incentiva a criação de redes de colaboração científica e tecnologia em todo o espaço europeu. No âmbito da produção de conhecimento verifica-se uma preocupação do Plano de Ação em potenciar o impacto das N&N nas áreas da saúde humana e ambiente. É também evidente o reforço das infraestruturas de apoio a criação de redes de excelência “distribuída” e de inovação industrial, com o objetivo de aproximar as universidades e centros de I&D à indústria.

O esforço de modernização da indústria europeia para introduzir o conhecimento avançado nos processos industriais foi revisto em 2007 antes de entrar em vigor o 7ºPQ. Os resultados foram 550 projetos em N&N e um investimento público europeu na ordem dos 1,4 mil milhões de euros no período de 2004 a 2006. Contudo, o “paradoxo europeu” paira ainda sobre o desenvolvimento da nanotecnologia europeia, com o investimento por parte do setor privado a ser ultrapassado pelos EUA e o Japão.

Sob a regência do 6º PQ, os objetivos do Plano de Ação foram decisivos no desenvolvimento de 35 projetos estratégicos no âmbito do ESFRI, bem como a criação de diversas Plataformas Tecnológicas Europeias na área da nanoelectrónica, nanomedicina e nanomateriais. No âmbito da inovação industrial, o Plano de Ação resultou na duplicação quer do número de patentes face ao 5ºPQ, quer do investimento em projetos colaborativos no período de 2004 a 2006, face aos dois anos anteriores.

A investigação em nanotecnologia viu o seu financiamento crescer durante o período de 2007 a 2008 com um dispêndio de 1,1 mil milhões de euros ao abrigo do 7ºPQ e cerca de 2,5 mil

milhões de euros por parte dos orçamentos dos Estados-Membros. No domínio do Programa “Cooperação” foram criadas neste período infraestruturas como a PRINS,<sup>27</sup> que envolveram o desenvolvimento de nanomateriais para o sector da eletrónica; em Portugal é criado o Laboratório Ibérico Internacional de Nanotecnologias<sup>28</sup> para a investigação fundamental; em França foram criados os “centros de integração de nanotecnologias”; e em 2009 a Comissão Europeia organizou o primeiro congresso internacional da iniciativa *Gennesys* para a investigação de aplicações em nanotecnologia (DGRTD, 2010).

No que respeita ao Programa “Pessoas,” a Comissão Europeia disponibilizou para o período de 2007 a 2008 um total de investimento nas ações Marie Curie cerca de 125 milhões de euros em projetos relacionados com a nanotecnologia. O Conselho Europeu de Investigação deu um contributo para o Programa “Ideias” no valor de 80 milhões de euros, proporcionando aos investigadores condições para tomarem iniciativas próprias na investigação em nanotecnologias (DGRTD, 2010).

Ao longo das avaliações do Plano de Ação 2005-2009, pode-se encontrar diversas referências e preocupações com os impactos éticos, sociais e ambientais da utilização da nanotecnologia. Em 2008 a CE emitiu dois Comunicados no contexto da regulação dos nanomateriais, “*Regulatory Aspects of Nanomaterials*” (European Commission, 2008b). As legislações mencionadas pretenderam regular a utilização de nanomateriais em três áreas fundamentais: na indústria química e afins no âmbito do REACH<sup>29</sup>; na proteção dos trabalhadores no âmbito da saúde e segurança no local de trabalho; e na proteção ambiental, para prevenir a poluição industrial.

Neste âmbito regulatório é possível afirmar que um dos documentos mais importantes é o “*Code of Conduct for Responsible Nanoscience and Nanotechnologies Research*” (European Commission, 2008a). O Código de Conduta criado em 2008 e complementar aos restantes desse mesmo ano teve o objetivo de criar um guia de melhores práticas para a segurança, ética e desenvolvimento socioeconómico e ambiental sustentável, dirigido a todos os *stakeholders* do setor.

---

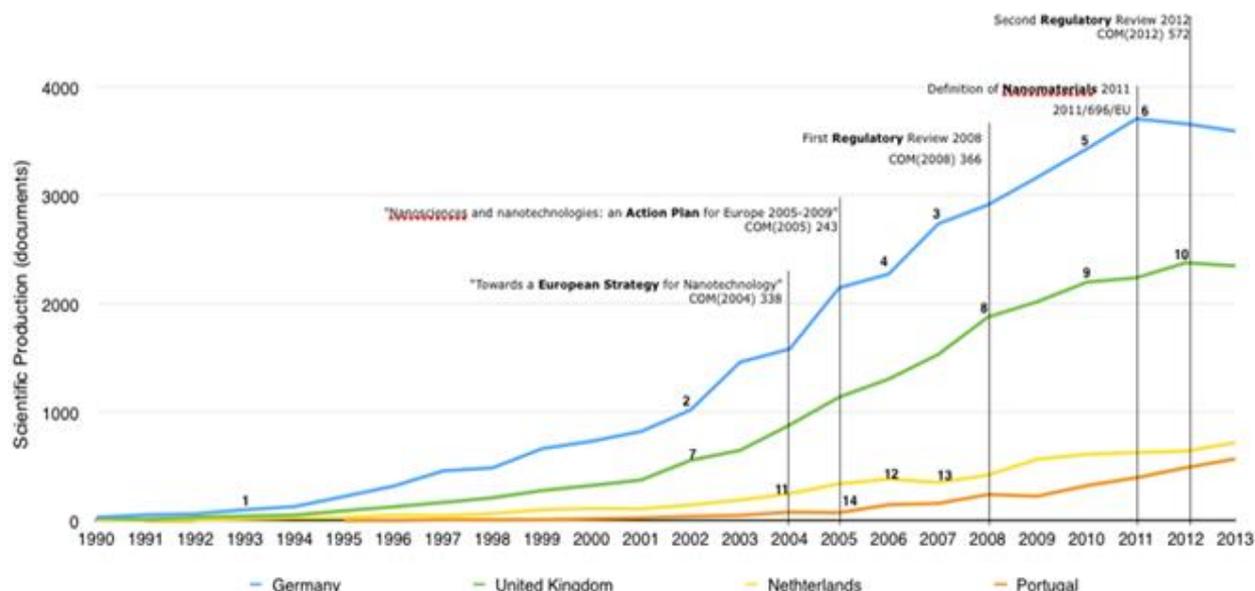
<sup>27</sup> Cooperação de centros belgas, alemães e franceses.

<sup>28</sup> Cooperação entre Portugal e Espanha situado em Braga.

<sup>29</sup> Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals: registo, avaliação e autorização de substâncias químicas

A Comissão Europeia tem o objetivo de implementar as políticas públicas que melhor promovem o desenvolvimento da nanotecnologia na Europa e nos estados-membros. Contudo, nem sempre os estados-membros alinham estratégias nacionais para o setor. A Figura 4.1 permite demonstrar a idiosincrasia das políticas europeias e nacionais de nanotecnologia em estados-membros selecionados.

Figura 4.1-Comparação entre políticas públicas europeias e nacionais para a nanotecnologia em determinados Estados-membros



Notas: legenda para as políticas públicas nacionais para a nanotecnologia: 1- BMBF Project funding 1993-2002; 2- BMBF/BMWA Project & Institutional Fund 2002-2005; 3- BMBF Project Funding 2007-2009; 4- The High-Tech Strategy for Germany 2006; 5- Nano-Initiative – Aktionsplan 2010 (High-Tech Strategy); 6- Action Plan Nanotechnology 2015; 7- New Dimensions for Manufacturing: A UK Strategy for Nanotechnology, “Taylor Report”; 8- Novel Materials in Environment: The case of nanotechnology; 9- UK Nanotechnology Strategy: Small Technologies, Great Opportunities; 10- Nanotechnology Strategy Forum (NSF); 11- NanoLab NL (Government Institute); 12- Cabinet Vision on nanotechnology “From Small to Great”; 13- Strategic research agenda of Netherlands Nano Initiative (NNI); 14- International Iberian Nanotechnology Laboratory (Government Institute). Fonte: compilado pelo autor a partir de dados da: Scopus (produção científica em nanotecnologia), NanoForum, Comissão Europeia, STANANO

O gráfico anterior sugere uma interpretação crítica aos esforços individuais dos estados-membros, durante o período de 1990 a 2012. Existem níveis diferentes de desenvolvimento científico, com a Alemanha a liderar e apresentar estratégias políticas que impulsionaram a produção de mais ciência, na introdução das políticas europeias e nacionais. O Reino Unido apresenta um crescimento comparado também elevado, com uma aproximação das suas políticas às europeias nos momentos decisivos (p.e. 2008 e 2012). Por outro lado, a Holanda e Portugal surgem com crescimentos comparados mais reduzidos, não se notando muito a intervenção das políticas públicas europeias; no entanto, com a introdução em 2005 do Plano de Ação Europeu para as

nanotecnologias, o governo português, em conjunto com o Estado espanhol, criou o Laboratório Ibérico Internacional de Nanotecnologia.

Nos últimos três anos do 7º PQ proporcionou à investigação em nanotecnologias um crescimento de financiamento sob o programa de trabalho *Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and New Production Technologies* (NMP). Os projetos MNP de 2010 foram contemplados com 198 milhões. Em 2011 esse valor passou os 300 milhões e suportou 35 tópicos, mais 13 do que ano anterior, relacionados com as nanotecnologias (European Commission, 2009b). No ano 2012, o orçamento estimado foi de 500 milhões de euros para os projetos MNP (European Commission, 2011).

Este programa de trabalho foi estruturado em dois grandes objetivos. O primeiro consistiu no financiamento e apoio aos projetos, com um financiamento na ordem dos 300 milhões de euros. O segundo grande objetivo, que a Comissão Europeia designou por orçamento de recuperação, propôs-se a apoiar projetos público-privados, como a construção das “fábricas do futuro”, a eficiência energética de edifícios e os “carros verdes”. Este objetivo teve uma parcela de 190 milhões de euros do orçamento para MNP (European Commission, 2011).

A comunidade científica e tecnológica é o motor do desenvolvimento de uma sociedade baseada no conhecimento. A produção científica e a criatividade, embebidas em diversas áreas disciplinares como a física, a química, biologia ou a engenharia, permitem o desenvolvimento das tecnologias emergentes como a nanotecnologia. Autores como Islam & Miyazaki (2008) confirmam a tendência das ciências fundamentais (p.e. física, química, biologia) para se fundirem e surgirem como ciências multidisciplinares, no desenvolvimento científico e tecnológico das nanociências e nanotecnologias.

A aposta na educação e formação é um indicador das políticas científicas. O principal objetivo destas iniciativas é formar os indivíduos e capacitar a sociedade com as ferramentas necessárias para abarcar o futuro da nova transformação socioeconómica baseada na nanotecnologia. Segundo Mihail Roco (2001), só nos EUA serão necessários, já para os próximos anos, cerca de 900 mil trabalhadores com competências em nanotecnologias; para a Europa este valor poderá atingir os 400 mil.

A educação e a formação são uns dos principais critérios necessários para levar a cabo as políticas científicas da nanotecnologia na Europa. No relatório de consulta pública promovido pela Comissão Europeia junto da comunidade científica é visível as preocupações dos investigadores relativamente educação e formação em nanociências e nanotecnologias: 75% dos investigadores exigem políticas e medidas para o desenvolvimento de projetos educativos nesta área do conhecimento (European Commission, 2010b).

Esta preocupação pela educação é acompanhada pelas recomendações do Conselho Europeu, que reconhece a necessidade da existência de centros interdisciplinares para a investigação das nanociências e sobretudo, recursos humanos altamente qualificados (European Council, 2007). E do Parlamento Europeu que acrescenta a importância do “triângulo do conhecimento”, i.e., Educação, Investigação e Inovação, na construção do Espaço Europeu de Inovação (European Parliament, 2006).

O quadro legal as políticas científicas devem assegurar à sociedade segurança e prevenção de riscos que as tecnologias emergentes podem trazer. O impacto de uma tecnologia transversal como a nanotecnologia na sociedade é elevado, por isso, desde muito cedo os países envolvidos na I&D de nanotecnologias e nano produtos têm implementado diversas diretivas e instrumentos legais.

A dimensão dos impactos sociais da nanotecnologia na Europa foi revista desde logo no Plano de Ação para 2005-2009. Nele, é referido que a Comissão Europeia, tutelar das políticas públicas, deve ter em consideração as preocupações dos cidadãos europeus (Comissão Europeia, 2005b) . E ao abrigo do 6º PQ, foi criado o projeto “Nanologue” com o objetivo de aproximar a decisão política ao debate público. Foi também criado o “grupo Europeu de Ética para as Ciências e as Novas Tecnologias (EGE)” que emitiu os seus primeiros relatórios sobre nano-ética em meados de 2007 (European Commission, 2008a).

A comunidade científica e outras instituições europeias também emitiram a sua opinião acerca das medidas de segurança e proteção ambiental na utilização das nanotecnologias (SCENIHR, 2009). Afirmam que as nanotecnologias possuem um elevado potencial, mas acarretam também potenciais riscos. A agricultura e alimentação são as áreas que mais preocupam os cidadãos europeus. Exigem mais ações regulatórias para a segurança dos nanomateriais e mais informação disponível ao consumidor. E estão preocupados com o nível de toxicidade que os nanomateriais

podem ter e com a segurança no ambiente de trabalho dos profissionais que utilizam nanomateriais (European Commission, 2010b).

Em 2009, forçada pelas instituições europeias, a Comissão Europeia acelerou o processo de regulação de diversos sectores industriais que utilizam nanotecnologias e nanomateriais na sua produção e comercialização. Exemplos destas medidas regulatórias podemos ver na segunda revisão do REACH, que prevê o uso obrigatório de informação dos tipos de nanomateriais em produtos comercializados e suas implicações na segurança humana. Os cosméticos também serão alvo de regulação apertada a partir de 2013 com a implementação da diretiva EC 1223/2009 que obriga a colocação de informação “nano” nos rótulos e etiquetas. No sector agroalimentar, a regulação será também revista com a introdução do indicativo “nano” em todos os produtos que possuam nanomateriais na sua constituição (ObservatoryNANO, 2012).

A evolução da estratégia europeia para a nanotecnologia foi acompanhada por uma série de recomendações e atos regulatórios, que permitiram desenvolver um setor industrial com base no conhecimento suportado pelas universidades e centros de investigação europeus. Sem dúvida que a linha mestra para esta estratégia tem origem no Plano de Ação para a Nanotecnologia da Comissão Europeia, mas não se deve menosprezar o papel do Parlamento Europeu, do Conselho Europeu ou do Comité Económico e Social Europeu, instituições que influenciaram a implementação da estratégia, por via de recomendações, relatórios ou opiniões.

Os Programas-Quadro são o rosto da estratégia para a nanotecnologia europeia, nomeadamente, o 6º e 7º PQ, que demonstraram a forma mais eficiente de implementar a política pública europeia para o setor. O atraso da Europa relativamente a países como os EUA ou Japão, e o reforço dos PQ para a nanotecnologia exigiram dos estados-membros a reorientação das suas políticas para o setor. Apesar da assimetria europeia na implementação das políticas europeias, os resultados, por exemplo do 7ºPQ, permitiram desenvolver um setor industrial mais próximo dos centros de saber.

Esta análise histórica e exploratória dos atores, políticas e estratégias científicas e tecnológicas europeias interpela-nos à reflexão sobre as causas das diferenças sistémicas e institucionais do desenvolvimento das nanociências e nanotecnologias. Se, por um lado, o Espaço Europeu de Investigação promove a aproximação dos sistemas de inovação dos vários Estados-membros, por via da política comum para ciência e tecnologia (i.e. Programas-Quadro), por outro,

as diferentes estratégias nacionais impelem à competitividade desses mesmos sistemas, como se uma quebra de simetria no Espaço Europeu de Investigação existisse.

Em suma a institucionalização da nanotecnologia na Europa fez-se através de um conjunto de políticas públicas, formuladas por diversas instituições europeias e implementadas pelos mecanismos dos Programas-Quadros. Estes instrumentos programáticos, através dos projetos de I&D, promoveram a colaboração interdependente entre os estados-membros, formando redes de inovação entre os atores socioeconómicos e políticos dos respetivos sistemas nacionais de inovação.

Desta fase introdutória da investigação resulta uma questão fundamental e pertinente: *quais os fatores sistémicos e institucionais latentes que moldam a formação de redes de inovação em nanotecnologia e nanociências na Europa?* Os próximos capítulos procuram dar resposta a esta questão, através da abordagem metodológica à Análise de redes Sociais. Pretende-se identificar as principais razões para a colaboração dos estados-membros na formação das redes de inovação em projetos de nanotecnologia promovidas pelas políticas públicas inerentes ao Programas-Quadro para nanociência e nanotecnologia.

As seções seguintes pretendem apresentar a metodologia de Análise de Redes Sociais (ARS) e os principais modelos utilizados para analisar as estruturas sociais em rede. Com o objetivo de analisar as redes de institucionais de inovação formadas a partir das políticas públicas é necessário enquadrar nesta leitura os principais conceitos da teoria das redes, bem como expor alguns modelos utilizados na ARS, em particular os modelos pertencentes à família de grafos exponenciais. Neste capítulo também é apresentado o modelo optado para a análise dos dados que irá suportar a tese.

### 5.1. A Análise de Redes Sociais como metodologia de investigação social

Antes de iniciar esta seção é necessário distinguir os conceitos de redes sociais designadas por *social media* (e.g Facebook, LinkedIn) da Análise de Redes Sociais com origem na teoria das redes e complexidade. Os *social media* ou redes sociais na gíria popular, consistem em plataformas digitais que permitem aos seus utilizadores conectarem-se de forma orgânica. A Análise de Redes Sociais (ARS) compreende metodologias teóricas e empíricas, assentes em técnicas estatísticas, que permitem analisar as conexões entre diferentes objetos de investigação (p.e. pessoas, entidades).

A origem da ARS está envolta em discussões académicas que perduram décadas. O primeiro registo de um estudo empírico focado na problemática das redes, surge com Leonhard Paul Euler e as famosas Pontes de Königsberg<sup>30</sup>. Alguns autores identificam o trabalho de Jacob Moreno no início dos anos 30 como o início deste campo de estudos, outros designam a escola de Harvard e os estudos conduzidos por Harrison White no início dos anos 70 como o ponto de viragem na ARS.

No entanto, podemos recuar no tempo e verificar que existem quatro períodos fundamentais no desenvolvimento da ARS. Segundo, Linton Freeman (2004, 2011), o primeiro período iniciou-se com os trabalhos de Jacob L. Moreno e de Helen Jennings, nos anos 30, com as suas abordagens à sociometria<sup>31</sup> (Moreno, 1934; Moreno, Whiting, & Jennings, 1932), no entanto, da escola de

---

<sup>30</sup> O “problema das pontes de Königsberg” resulta do desafio que Euler interpôs à Academia das Ciências Russas de São Peterburgo. Aí apresentou um diagrama que pretendia fazer a analogia entre um grafo e as duas ilhas ligadas por pontes e o rio Pregel, em Königsberg (hoje Kaliningrado). O problema consistia em sair de um determinado ponto, passando uma única vez pelas 7 pontes que ligam a terra em volta do rio e retornando ao ponto de partida. Em suma, associou 4 pontos às respetivas partes terrenas e 7 linhas às pontes, formando o que se designa hoje de grafo, um objeto matemático composto por vértices ou nodos (i.e ilhas) e ligações ou arestas (i.e pontes).

<sup>31</sup> Um ramo da análise de redes sociais no qual os indivíduos e/ou eventos estão representados em formatos matriciais com correspondência binária (1 existe ligação e 0 não existe ligação). A representação gráfica faz-se através de uma matriz de duas entradas.

sociologia americana, emerge em meados de 1940 um novo período focado na investigação das redes sociais e liderado por W. Lloyd Warner (Davis, Gardner, & Gardner, 1941; Warner & Lunt, 1941).

Até então, o foco dos cientistas sociais centrava-se no indivíduo, mas a natureza das relações sociais humanas transitou os estudos sociais para um olhar mais lato sobre as estruturas dos relacionamentos entre os indivíduos e outros atores sociais não humanos. Nos finais da década de 30, surgiu na Europa uma nova linha de investigação liderada pelo psicólogo Kurt Lewin, orientada para o desenvolvimento de uma perspetiva estrutural das redes sociais (Lewin & Lippitt, 1938). Lewin mudou-se para Massachusetts Institute of Technology (EUA) em 1947 e com ele toda a sua equipa, entre os quais Alex Bavelas, o qual, contribuiu para os estudos do impacto das estruturas dos grupos na produtividade e moral (Harold, 1951).

Durante décadas, vários grupos de investigação foram desenvolvendo estudos e avanços na análise de redes sociais com base nestes trabalhos pioneiros. No início de 1970 existiam cerca de 16 centros de investigação dedicados ao estudo das ciências sociais pela abordagem das redes sociais. É por esta altura que Harrison C. White e seus pupilos de Harvard estabeleceram talvez o último centro de investigação, ao forjar junto da comunidade de cientistas sociais os fundamentos e padrões teóricos sociais até então desenvolvidos, nas diversas escolas de redes sociais (Freeman, 2011).

O último período inicia-se na década de 90, com o interesse dos físicos pela análise das redes sociais. No princípio, foram os trabalhos de Duncan Watts e Steven Strogatz (1998) sobre os “mundos pequenos”<sup>32</sup> e mais tarde Michelle Girvan and Mark Newman (2002) Albert-László Barabási and Réka Albert (1999), com os seus estudos da centralidade<sup>33</sup>. Mas segundo Freeman (2011), a apropriação das teorias das redes sociais pela física não foi pacífica, pois este acusa os demais mencionados de não terem refletido sobre a literatura desenvolvida pelas ciências sociais.

---

<sup>32</sup> “Small world” é um modelo desenvolvido por Duncan Watts e Steven H Strogatz (1998), no qual a distância entre vértices cresce, de forma moderada, em função do número de vértices na rede, ou seja, é possível chegar a qualquer vértice da rede em poucos passos (i.e pelas ligações). Este modelo é conhecido pela “separação de seis graus” (six degree separation), por outras palavras, qualquer pessoa poderá entrar em contato com a mais longínqua pessoa através de outras seis pessoas.

<sup>33</sup> Um modelo estrutural desenvolvido por Barabási e Albert (1999) assente na distribuição assimétrica do número de ligações entre os vértices (i.e nodos, atores sociais, entidades, etc) designado por redes sem escala do inglês “scale-free networks”. Os resultados mais conhecidos são o fenómeno das redes sociais online, nas quais faz todo o sentido a afirmação, “amigo do meu amigo também é meu amigo.”

Os modelos de análise de Barabási e Albert (1999) tiveram grande impacto na comunidade científica. Os seus estudos centraram-se na distribuição das ligações entre atores à medida que estes se juntavam às redes e verificaram que este crescimento não apresentava configurações aleatórias, ou seja, a entrada de novas entidades para a rede social não é feita ao acaso, mas sim com uma preferência. Aliás, verificaram nos seus estudos empíricos que poucos vértices da rede apresentavam muitas ligações e grande parte dos restantes tinham poucas ligações (i.e redes sem escala).

Estes físicos pioneiros contribuíram com uma panóplia de modelos e arranjos matemáticos que revolucionaram os estudos da análise de redes sociais. Com estes surgiram as noções de *proximidade*, *intermediação* dos vértices ou o *coeficiente de clustering*, que mede o grau que cada vértice e os seus vizinhos estão diretamente ligados ou ainda o fenómeno de “mundo pequeno”. Foram um contributo analítico generoso para os cientistas sociais permitindo enriquecer os seus estudos das redes sociais. É de tal forma a sua influência que nos últimos anos a investigação em redes sociais passou de representações binárias para representações numéricas das ligações entre vértices e de modelos algébricos e grafos para o desenvolvimento de modelos probabilísticos (L. C. Freeman, 2011).

A comunidade científica de físicos e matemáticos continuou a trabalhar arduamente no desenvolvimento de modelos matemáticos para a análise de redes sociais. E no início dos anos 2000, Michelle Girvan e Mark Newman (2006), desenvolveram uma série de modelos e algoritmos matemáticos, baseados nos conceitos de centralidade de Freeman (1977), que permitem desvendar a estrutura das comunidades criadas pelas redes sociais, em particular a medida designada por *modularidade*. Esta medida consiste em detetar e caracterizar a estrutura das comunidades, pela análise das ligações entre grupos de vértices comuns e suas fronteiras.

Ao longo de décadas, a teoria e análise de redes sociais foi evoluindo *pari passu* com as ciências sociais e exatas. Para isso contribuiu sem dúvida o trabalho de físicos e matemáticos, que introduziram instrumentos quantitativos que permitiram desenvolver e suportar as teorias sociais associadas às redes, nomeadamente a redes que se desenvolvem nos sistemas de inovação. A seção seguinte, enumera diversos trabalhos na análise de redes de inovação na perspetiva institucional dos sistemas de inovação, em particular na avaliação das políticas públicas europeias.

## 5.2. Abordagem às redes nos sistemas de inovação

A Análise de Redes Sociais (ARS) compreende metodologias teóricas e empíricas, assentes em técnicas estatísticas, que permitem analisar as conexões entre diferentes objetos de investigação (p.e. pessoas, entidades). Numa perspetiva institucionalista a análise de redes desempenha um papel essencial na identificação das estruturas de poder entre os diversos atores socioeconómicos dos sistemas de inovação. As propriedades das redes podem até evidenciar as preferências dos decisores e as suas estratégias (Nordin, 2007; Zhou & Delios, 2012).

A teoria do institucionalismo em conjunto com as abordagens dos sistemas de inovação, pode ser utilizada com a Análise de Redes Sociais (ARS) na compreensão dos fenómenos de difusão da inovação. Aliás, alguns estudos sugerem duas abordagens para explicar o fenómeno de difusão da inovação: por um lado, os teóricos das redes imputam a coesão e posição dos atores dos sistemas (Marsden & Friedkin, 1993); por outro, os mais institucionalistas definem o isomorfismo competitivo e institucional, como constructos do processo de difusão da inovação (DiMaggio & Powell, 1983).

De acordo com alguns os autores (Nordin, 2007; Ribhegge, Powell, & DiMaggio, 1993) as organizações competem entre si, não só por recursos e clientes, mas também, por poder político e legitimidade institucional, por via de mecanismos normativos (p.e. normas e práticas institucionais), miméticos (i.e. imitação) ou coercivos (p.e. poder institucional, organizativo), que produzem formas de isomorfismo organizacional em setores institucionais.

No contexto das políticas de ciência e tecnologia, encontramos esta dualidade complementar na competitividade entre sistemas nacionais de inovação, onde as principais organizações procuram as melhores práticas institucionais, nos sistemas de inovação dos países mais avançados, ou seja, uma competição por imitação (Meyer & Scott, 1992). As organizações competem por recursos, poder e legitimidade institucional, quer internacionalmente, quer nos seus próprios sistemas nacionais de ciência e tecnologia.

As políticas de ciência e tecnologia podem também ser perspetivadas em duas visões: a política para a ciência e tecnologia, no qual o Estado tem o papel de promover o desenvolvimento da ciência, tecnologia e inovação; e os resultados da ciência e tecnologia como garante dos objetivos gerais do Estado. Esta institucionalização das políticas de ciência e tecnologia consiste no

aumento das interações entre organizações dos sistemas nacionais de inovação.

Neste contexto dos sistemas de inovação, os isomorfismos institucionais podem conter em si um meio propício ao desenvolvimento de redes de inovação, promovidas pela ação do Estado e constituída por diferentes organizações do meio científico, tecnológico e empresarial, que competem entre si para atingir os melhores resultados.

Loet Leydesdorff (2018) afirma que os sistemas nacionais de inovação estão organizados institucionalmente e desta forma estão sujeitos às matrizes políticas dos governos nacionais e regionais. O autor dá como exemplo, a agência federal National Science Foundation, no seu papel de analista institucional e político. Adianta ainda, a formação de uma *hélice tripla* de inovação - o modelo Universidade-Indústria-Governo (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000), como resultado de um arranjo interinstitucional.

O modelo institucional da hélice tripla tem como base as relações projetadas das redes de inovação. Estas relações podem ser de primeira ordem, correspondente aos atributos dos vértices dessas redes (i.e. instituições) e de segunda ordem, resultante das estruturas tríades das relações entre os atributos de primeira ordem (Leydesdorff, 2018).

Na perspectiva evolucionista dos sistemas de inovação, Loet Leydesdorff (2018), assume que os arranjos institucionais, são produto da conceção triangular, entre a produção de conhecimento pela ciência, criação de riqueza pelos mercados e regulação interposta pelas políticas públicas. Para estes autores, a evolução dos sistemas de inovação, tem como base as relações entre estes mecanismos de coordenação social.

Esta dinâmica institucional dos sistemas nacionais de inovação difere entre nações com diferentes níveis de investimento em I&D. Loet Leydesdorff e colegas (Leydesdorff, Bornmann, & Wagner, 2017), sugerem, que o investimento público tem um impacto elegível e negativo em sistemas nacionais com elevado nível de colaboração científica internacional. Por outro lado, em sistemas nacionais nos quais o impacto da produção científica é menor, a ação governativa tem um papel preponderante.

Vicent Larivière e Gita Ghiasi (2015), comprovaram que a produção científica depende da arquitetura dos sistemas de inovação, nomeadamente na estrutura tecno-económica dos países. Os

autores referem que, em determinados sistemas setoriais da inovação tecnológica, países como os EUA e a China, são líderes na produção científica, por via do financiamento governamental e projetos militares. Por outro lado, existem países na Ásia e na Europa, que apostaram em planos estratégicos nacionais, para incluir outros atores socioeconómicos, tornando-se países mais especializados, por outras palavras, escolheram caminhos tecnológicos diferentes, em determinados sistemas setoriais.

Em suma, as relações e os arranjos entre as instituições são suscetíveis às intervenções das políticas públicas e as dinâmicas institucionais levam a determinados caminhos tecnológicos ao longo das trajetórias históricas (Leydesdorff, 2018). Por exemplo, as redes de inovação formadas a partir dos sucessivos Programas-Quadro e políticas públicas nacionais, aportam determinadas características de um caminho tecnológico da integração europeia<sup>34</sup>.

Sem uma avaliação minuciosa aos programas de investigação e desenvolvimento, não é possível contabilizar o impacto dos esforços das políticas científicas, nem melhorar as suas opções para os sistemas nacionais de inovação. A OCDE define três tipos de avaliação das políticas de inovação: em retrospectiva (*ex-post*), na qual é possível recolher informação das políticas passadas; no decorrer das ações, com a possibilidade de desencadear acertos de percurso; ou em prospetiva (*ex-ante*), projetando novas políticas de inovação (Papaconstantinou & Polt, 1997).

A complexidade e diversidade de programas de I&D conduzem a diferentes modelos de avaliação. Dos modelos quantitativos baseados somente no *peer-review* e análise bibliométrica (p.e. citações), passando pelos impactos socioeconómicos das políticas nacionais e regionais, aos estudos econométricos e análises de custo-benefício. Mas nem só de modelos estritamente quantitativos, definem a avaliação dos programas de I&D. O surgimento de técnicas que avaliam a formação das redes de inovação e os efeitos de aprendizagem dos programas de I&D, complementam a perspetiva “soft side” dos sistemas de inovação (Jha, 2011; Papaconstantinou & Polt, 1997).

No âmbito da teoria económica podemos encontrar diversos exemplos de aplicação da ARS aos sistemas de inovação. Os estudos de Frédéric Deroian (2002) concluem que as redes de difusão são um processo evolucionário e que a inovação é um fenómeno em rede. Por outro lado, Riccaboni e Pammoli (2002) afirmam que as empresas utilizam as redes, como fator externo de crescimento. Outros autores (Owen-Smith, Riccaboni, Pammolli, & Powell, 2002) compararam a organização e

---

<sup>34</sup> Ver capítulo 1 “Desenvolvimento das políticas europeias de Ciência e tecnologia”

estrutura da investigação científica entre os EUA e a Europa com o objetivo de identificar redes de cooperação em I&D transatlânticas.

Os sistemas ou redes de inovação tem o propósito de desenvolver a capacidade inovadora dos programas de inovação, quer ao nível nacional, regional ou sectorial, constituídos normalmente por atores socioeconómicos tão heterogéneos, como universidades, centros tecnológicos, empresas e outras organizações de desenvolvimento (Jha, 2011). As redes formadas por estes intervenientes possuem ligações estruturais frágeis, sustentadas em afinidades culturais e sociais ou mesmo normas institucionais, nas quais a análise de redes sociais se torna um instrumento fundamental para estudar essas relações e alavancar as políticas dos programas de I&D (Jha, 2011; Pinheiro, Lucas, & Pinho, 2015).

No contexto da construção do Espaço Europeu de Investigação, pode-se encontrar alguns exemplos da avaliação dos Programas-Quadros (PQs) ou de projetos, com recurso à ARS (Buckner & Cruickshank, 2008; Garas & Argyrakis, 2009). Besussi (2006) utilizou a ARS para identificar e mapear as redes de excelência científica no 6ºPQ. Nos estudos de Wagner *et al* (2005), a ARS foi primordial na avaliação do impacto do 6ºPQ, na sociedade das tecnologias de informação e reforçada pelos trabalhos de Malerba, Vonortas, Breschi e Cassi (2008), que utilizaram a ARS para argumentar que o 6ºPQ teve um papel importante na atração de atores importantes, na criação e difusão de novo conhecimento, e na promoção da conectividade nas redes de inovação. Em outro sentido, Breshi e Cusmano (2004) recorreram a ARS para identificar os “grupos oligárquicos”, que semeiam poder nos PQs - por outras palavras, sugerem a existência de um poder centralizador das redes de projetos catalisado por alguns atores institucionalmente fortes.

Um estudo comparativo às redes dos 5º e 6º PQs da Comissão Europeia (Garas & Argyrakis, 2009), revelam que apesar de alguma similaridade estrutural em ambos os Programas, existiu uma diminuição do número de contratos e do total de parceiros únicos; contudo, o número de colaborações por instituição aumentou. Desta avaliação, conclui-se ainda que ao nível da colaboração internacional, quanto mais ativas são individualmente as instituições num determinado país, mais central é o papel desse país na estrutura da rede europeia. São exemplos desta centralidade, países como a Alemanha, França, Itália e Reino Unido.

Na avaliação *ex-post* ao 7º Programa-Quadro, foram realizados estudos com base na

metodologia da ARS, que avaliam os efeitos da multidisciplinariedade, interdisciplinaridade, intersectorial e colaboração internacional dos resultados positivos do 7º PQ (Directorate-General for Research, Science-Metrix, Fraunhofer-Institut, & Oxford Research, 2015). A avaliação comportou métodos de análise de redes, entrevistas e análise de regressões, que resultaram em 6 recomendações para melhorar a constituição das redes em futuros Programas:

1. **Diminuir os buracos estruturais.** Se por um lado se verifica que as universidades e centros de investigação se situam no núcleo da rede estrutural com elevado número de ligações, por outro, as pequenas e médias empresas e os organismos públicos, posicionam-se na orla das redes com poucas ligações, formando tipos de buracos estruturais.
2. **Continuidade na transferência de tecnologia.** É fatural que a experiência em redes de colaboração científica, em projetos bem-sucedidos, tem efeitos diretos em futuras redes de colaboração.
3. **Promover novas colaborações.** A entrada de novos parceiros nas redes de colaboração melhora o desempenho dessas redes e promove a inovação.
4. **Multidisciplinaridade e relações intersectoriais.** O envolvimento de PMEs de diferentes setores em redes científicas, demonstrou impulsionar a inovação. Contudo, um aumento significativo do número de setores poderá ter um efeito adverso.
5. **Integração das regiões EEI e das relações internacionais de investigação.** A cooperação inter-regional (p.e. NUT3) no Espaço Europeu de Investigação, não só contribui para o aumento da produção de conhecimento, como também para a competitividade internacional dessas regiões.
6. **Desafios na gestão de projetos e dimensões ótimas dos projetos.** As diferenças interculturais e geográficas requerem dos coordenadores dos projetos uma capacidade adicional de gestão de projetos em rede. Apesar de não existir um valor ótimo para a constituição de uma rede de colaboração científica, é imperativo apresentar critérios de seleção, como o número de participantes, o nível de multi/interdisciplinariedade, o número de regiões e países em cada projeto do PQ.

Neste relatório, a metodologia de Análise de Redes Sociais foi determinante para identificar as atividades de rede do 7ºPQ. Para a construção de indicadores de rede, foram utilizados os dados dos participantes e dados bibliométricos da base de dados *Web of Science* (WoS), com o objetivo de determinar a interdisciplinaridade dos projetos e colaborações científicas entre países (Directorate-General for Research, Science-Metrix, Fraunhofer-Institut, & Oxford Research, 2015).

### 5.3. Conceitos fundamentais em Análise de Redes Sociais

Esta secção introduz os principais conceitos associados à Análise de Redes Sociais. A escolha da ARS assenta na particularidade de ser interdisciplinar e com alguns anos de desenvolvimento. É utilizada em áreas científicas como a psicologia, sociologia, marketing ou economia, com o objetivo de identificar as relações entre as diferentes unidades de análise (J. P. Scott, 2000). As redes sociais são a estrutura social criada pelos indivíduos (ou organizações) e que estão ligados por características interdependentes de diversos tipos (i.e amizade, interesses comuns ou projetos).

Newman (2003) enumera quatro tipos de redes baseadas no mundo real. O autor identifica e qualifica as propriedades das redes sociais, originadas a partir das relações interpessoais dos indivíduos, as redes de informação ou conhecimento que surgem da colaboração entre cientistas, as redes tecnológicas fabricadas pelo Homem, como as redes elétricas ou as redes de telecomunicações, as redes biológicas fruto dos sistemas metabólico ou proteico.

O foco de estudo da ARS são as estruturas criadas pelas ligações entre as unidades de estudo ou atores sociais e depende da importância que é dada ao relacionamento de interação entre os atores (Wasserman & Faust, 1994:4). Segundo alguns autores (Green, Hull, McMeekin, & Walsh, 1999; Kitagawa, 2005), estas unidades de estudo podem configurar entre universidades, laboratórios, centros de investigação, organizações de suporte à inovação e empresas. Estas últimas podem cooperar a vários níveis com os sectores público, semipúblico e privado (Pekkarinen & Harmaakorpi, 2006) e formam as designadas redes institucionais de inovação.

A Análise de Redes Sociais (Coulon, 2005) pode ser diferenciada em dois níveis de estudo: uma visão de toda a rede, na qual todas as ligações contêm uma específica característica da população de estudo (p.e. empresas, universidades); e a perspetiva das redes pessoais (ou egocêntrica), que consiste no estudo das várias ligações que uma pessoa ou organização pode ter. O quadro 5.1 apresenta os dois níveis de estudo:

Quadro 5.1 - Exemplos de unidades de estudo na Análise de Redes Sociais

Unidades de Estudo	
Nível individual	Nível organizacional ou institucional
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cientistas</li> <li>• Inventores</li> <li>• Empreendedores</li> <li>• Atores políticos</li> <li>• Computadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empresas (e.g PMEs, Multinacionais)</li> <li>• Outras organizações (e.g Governos, Universidades, Centros de I&amp;D, projectos)</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Salavisa & Fontes (2012)

A Análise de Redes Sociais providencia também a compreensão de diversos conceitos sociais, teorias alternativas sobre a independência dos atores sociais e um quadro de referência para testar teorias de relacionamento das estruturas sociais (Wasserman & Faust, 1994). De facto, deste tipo de investigações, surgem de diferentes e distintas fontes de dados, que definem a melhor metodologia de análise (Scott, 2012).

As principais tipologias de dados na ARS são compostas por: dados de atributos, que evidenciam as atitudes, opiniões e comportamentos dos atores sociais; e dados relacionais, que consistem em contactos, ligações e conexões entre os diversos atores da rede social. O quadro seguinte resume a relação entre o tipo de dados e sua análise.

Quadro 5.2 - Tipologia de dados e análise

Tipo de dados	Tipo de análise	Tipo de investigação
Atributos	Análise de variáveis (e.g PIB, despesa em I&D, rendimento)	Investigação por questionários (p.e. inquéritos), etnográfica (p.e. observações) ou documental (p.e. textos)
Ideação	Análise tipológica (ideais <i>weberianos</i> como o regimes socio-económicos)	
Relacional	Análise de redes (assente em medidas quantitativas e qualitativas das redes)	

Fonte: adaptado John Scott (2012)

Os estudos de Stanley Wasserman e Katherine Faust (1994) são uma referência para os trabalhos baseados na análise de redes. Os autores consolidam diversos conceitos de análise de redes, fundamentais para a compreensão das estruturas das redes socioeconómicas. Dependendo da natureza dos atores e suas relações, existem vários tipos de vértices e ligações.

Como qualquer sistema biológico ou físico, os sistemas sociais estão envolvidos em interações diversas, com a particularidade de serem simétricas ou direcionadas ou assimétricas ou não direcionadas. Por exemplo, a relação entre duas pessoas (i.e. vértices), pode ser simétrica caso estas se conheçam pessoalmente; por outro lado, relações assimétricas observam-se, no caso de duas pessoas não terem uma relação pessoal. Um exemplo comum é o caso das redes em plataforma de social media (p.e., Facebook), em que cada utilizador tem muitos “amigos”, mas só uma finita parte destes são amigos pessoais.

Apesar das redes direcionadas e não direcionadas compreenderem alguma similaridade, a diferença torna-se evidente e importante quando o problema a estudar requer uma avaliação do fluxo da informação ou outro aspeto dinâmico. Numa rede direcionada, o fluxo tem um comportamento limitado às ligações diretas existentes entre os vértices, comprometendo tanto a velocidade como o sentido desse fluxo. No caso de um evento epidémico, as ligações diretas entre determinadas pessoas (p.e. colegas de trabalho) é preponderante na propagação de uma doença.

É possível também que em determinadas redes existem auto ligações, ou seja, vértices que tem ligações a si próprios. O caso mais fatural é o das publicações científicas e acontece quando um autor cita um trabalho seu no artigo corrente. Recentemente um estudo comparativo (Deschacht & Maes, 2017), revela que os autores pertencentes a culturas mais individualistas, autorreferenciam-se em dobro, relativamente a autores de culturas mais coletivistas.

Outra avaliação à natureza das relações entre vértices é a intensidade das ligações entre estes. Mas antes de quantificar a intensidade das ligações é necessário referir que as ligações entre vértices, numa linguagem binária, classificam-se, por um (1) se existe ligação ou zero (0) se não existe ligação, normalmente representadas por matrizes binárias. Contudo, estas ligações podem ser acompanhadas por um valor quantitativo que reflete a intensidade dessa ligação.

Uma rede pode apresentar ligações sociais fortes ou fracas entre indivíduos (Newman, 2004). Essa intensidade é refletida nos atributos das ligações, que podem tomar valores contínuos

ou discretos, por exemplo, numa rede de conhecimento científico, o número de autorias, de artigos científicos, em comum entre dois cientistas pode estar correlacionado pela sua proximidade cognitiva, ou seja, por pertencer à mesma área de conhecimento ou por ter um outro colaborador em comum (Newman, 2001).

Outro fator relevante na estrutura das redes sociais é a natureza da ligação do tipo vértices. Uma rede pode apresentar ligações entre vértices da mesma ou diferente natureza concetual. Dependendo do objetivo de estudo, as redes podem ter ligações entre dois conjuntos de diferentes tipos vértices, designadas por redes “2 modos” ou de afiliação. Por exemplo, uma rede que tem em conta as ligações entre projetos de investigação e organizações, pode apresentar uma estrutura preferencial de atores, que podem influenciar a difusão da inovação (Autant-Bernard, Billand, Frachisse, & Massard, 2007).

Alguns autores (Agneessens, Moser, & Barnett, 2011) diferem as redes de “2 modos” das redes bipartidas. Esta última é definida quando, de alguma forma, os vértices podem ser distinguidos em dois subconjuntos de características. Por outro lado, nas redes de afiliação ou de “2 modos”, existem *a priori* dois tipos distintos de vértices (p.e.. projetos e participantes) e a análise da rede recai sobre um só modo.

Como referido anteriormente uma rede de forma abstrata é um conjunto de vértices com ligações entre os mesmos formando um sistema a que designamos de grafo(s). Do ponto de vista matemático a topologia de grafos foi abordada inicialmente por Euler no século XVIII mas teve maior relevo nos anos 30 e 40 do século XX, onde foram estudadas vários tipos de redes, formando um corpo epistemológico da Teoria das Redes.

Timidamente a Teoria das Redes foi adotada pelas ciências sociais, na análise de pequenos grupos de grafos, com foco em análises topológicas simples, como centralidades e conectividade dos vértices. Os estudos típicos em ciências sociais, assentam na distribuição de questionários a indivíduos, para identificar as suas relações com outros pares. Mas recentemente, algumas ciências sociais tem abordado redes de grande dimensão e utilizam técnicas de estatística avançadas para estudar as propriedades dos grafos.

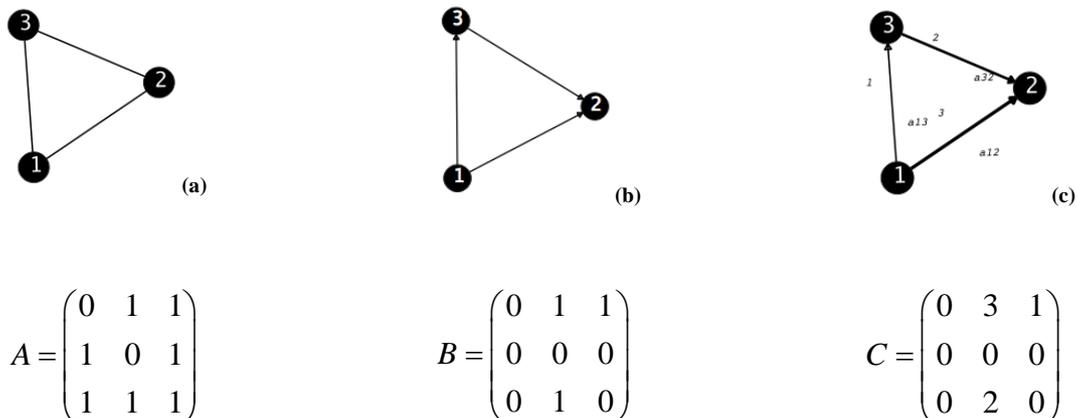
A complexidade topológica das redes sociais limita a sua representação analítica; desta forma existe um conjunto de ferramentas numéricas e estatísticas para descrever os conceitos e

corroborar as hipóteses teóricas (Boccaletti, Latora, Moreno, Chavez, & Hwang, 2006; J. Scott, 2012).

O principal conceito a reter numa análise de redes é a matriz de adjacência. Como referido anteriormente, a existência de ligação ou não entre dois vértices pode ser representada por um sistema binário (i.e. 1 ou 0 respetivamente). Precisamente, a matriz de adjacência é definida por elementos  $a_{ij}$ , que tomam o valor de 1 se os vértices  $i$  e  $j$  estiverem ligados e 0 caso contrário. Se o grafo ou rede for não direcionada, isto significa que a matriz respetiva é simétrica ( $a_{ij} = a_{ji}$ ).

No quadro seguinte, descreve-se a representação matricial dos grafos respetivos. A matriz  $A$  é uma matriz adjacente do grafo (ou rede) não direcionado, representado na figura 5.1 (a) e constituído por 3 vértices (i.e. matriz 3x3). A matriz  $B$  é uma matriz adjacente, mas como se pode verificar esta matriz não é simétrica e representa um grafo direcionado da figura 5.1 (b). A matriz  $C$ , não é uma matriz de adjacência, mas sim uma matriz que representa a intensidade das ligações do grafo da figura 5.1 (c). Por exemplo, a ligação entre o vértice 3 e 2 tem uma intensidade de **2**. As matrizes  $B$  e  $C$  são idênticas em termos de dimensão, mas diferentes nos conceitos que representam.

Figura 5.1 - Representação analítica dos grafos (ou redes)



Após definida a matriz de adjacência é possível calcular diversas propriedades de uma rede. A primeira é a *distribuição de grau*, ou seja, o número de vértices ligado a um determinado vértice  $i$ . No caso de um grafo (ou matriz) não direcionado, são somadas todas as arestas ligadas ao vértice, quando estamos presentes com grafos direcionados é necessário somar e diferenciar as ligações que

saem (*out*) e as que entram (*in*). A função de distribuição de grau é a fração de ligações que cada vértice tem na rede.

Outro conceito importante na ARS é o que designamos por *menor distancia média* entre dois vértices. Numa rede mais ou menos complexa, existem vários caminhos que ligam dois vértices, mas é importante saber qual o caminho mais curto ou pequeno que une estes dois vértices. Numa rede onde a distância mínima é pequena a propagação da informação ou outro fluxo é mais rápida do que em redes onde essa distância mínima é mais longa.

Este conceito é importante porque dele emana uma série de interpretações da estrutura das redes. Como por exemplo a *distância* geodésica ou diâmetro de uma rede, ou seja, o número de arestas de menor distância média, que ligam um determinado vértice aos restantes. O diâmetro de um grafo ou rede é a distância geodésica mais longa entre dois vértices. O conceito de *densidade* de um grafo ou rede consiste na proporção de arestas (ou ligações) que estão presentes na rede relativamente às possíveis (Wasserman & Faust, 1994).

A Análise de Redes Sociais é em particular diferente das restantes análises sociais e comportamentais, pois a unidade de medida básica é a relação entre dois atores, podendo evoluir para estruturas mais complexas como *tríades* ou *grupos*, com ou sem atributos. Os dados na ARS requerem a utilização de um conjunto de metodologias próprias de análise das ligações entre os atores incluindo as suas características.

As teorias das redes contemplam diferentes níveis de unidade de análise (i.e., atores individuais, *díades*, *tríades*, *subgrupos* e *grupos*), complementarmente, a ARS providencia métodos de avaliação das propriedades das estruturas de rede e corrobora as teorias em todos estes níveis (Wasserman & Faust, 1994). Ao nível do ator individual pode-se avaliar as propriedades estruturais e de localização na rede, ou com maior complexidade, as suas propriedades em modelos estocásticos.

As díades e tríades são subgrafos de uma rede e estão definidos por um conjunto de vértices e de ligações. As díades consistem na forma mais básica de estrutura em rede, representam um par de vértices ligados por uma possível aresta entre ambos. Na sua forma matricial, numa díade os vértices só podem ter dois estados, ambos são adjacentes ou não o são; por outras palavras, os dois atores da díade estão ligados ou não. Para díades em grafos ou redes diretas existem três classes de

isomorfismo: díade nula, se não existe aresta; díade assimétrica, no caso a aresta de ligação tomar um único sentido; e díade mutual, quando existem duas arestas, cada uma em sentido oposto.

Por outro lado, Holland e Leinhardt (1976), conjecturam que as redes sociais locais podem ser expressas pela contagem de tríades de qualquer estado possível. Para as redes não direcionais, são quatro os estados possíveis, para as redes diretas os autores propõem 16 diferentes estados de transitividade, normalmente utilizados para testar inúmeras hipóteses acerca das relações sociais entre atores. Segundo Snijder (2001), esta abordagem está obsoleta e refere novos métodos estatísticos de probabilidade de distribuição de grafos dependentes do número de tríades ou tríplexes complementados pela contagem de configurações em estrela propriedades dos vértices<sup>35</sup>.

Outro conceito importante é o nível de agrupamento<sup>36</sup> de um grafo ou rede. O *clustering* é conhecido por apresentar propriedades de transitividade, ou seja, um número elevado de triângulos numa rede (Boccaletti *et al.*, 2006; Watts & Strogatz, 1998). O papel das tríades é assim importante na configuração estrutural das redes e o coeficiente de agrupamento uma medida dessa dimensão estrutural. O *coeficiente de clustering* é resultado da soma de todos os ciclos de três ligações na rede. Em redes complexas a contagem destas tríades é quase impossível, desta forma recorre-se a métodos de estimação como o de Monte Carlo.

Na análise ao nível dos pares de atores, encontramos as distribuições estatísticas que contemplam avaliação das redes ao nível das díades, distribuições, *clusters* ou modelos estatísticos probabilísticos de tríades. O anexo B apresenta e desenvolve alguns destes conceitos fundamentais importantes para descrever a análise das configurações estruturais das redes.

Ao nível individual dos atores, pode-se avaliar pelas propriedades inerentes à sua posição na rede. Como descrito anteriormente, a ARS consiste em analisar as ligações entre atores; desta forma podemos encontrar, em cada vértice de uma rede, uma oportunidade de ligação aos restantes vértices. E na sua posição relativa na rede, um conjunto de propriedades estatísticas, que contribuem para avaliação da rede em análise.

---

<sup>35</sup> Tríplexes vem do inglês *triplets* e referem-se somente ao número de arestas presentes e não requerendo a ausência de arestas. A configuração em estrela, consiste numa formação de arestas em estrela, ou seja, arestas que emanam de um vértice. Por exemplo, o número de configurações tríplexes de duas-estrelas é o número potencial de tríades possíveis.

<sup>36</sup> Do inglês *clustering*.

Um dos conceitos fundamentais na ARS é a ideia de *centralidade* dos indivíduos ou organizações na sua rede social, fundamentado no conceito sociométrico da “estrela” (i.e., egocentrismo) (Scott, 2012). Estes conceitos assentam na propriedade geoposicional dos diversos atores nas suas redes. O trabalho pioneiro de Bavelas (1950), introduziu uma série de métricas para avaliar o princípio de centralidade, em particular, o “ponto de centralidade”, um conceito mais tarde reintroduzido e desenvolvido por Freeman (1987).

O “ponto de centralidade” é redutor, ao focar os atores na sua dimensão de local, onde a análise é limitada às ligações próximas, aos seus vizinhos. Freeman (1987), propõe uma visão mais global, e introduz o conceito de centralização, referindo as propriedades específicas das estruturas do grafos como um todo. Medidas como centralidade de grau, o número de ligações de um vértice aos seus adjacentes (i.e centralidade local), ou centralidade de proximidade (*closeness*), a proporção de vértices conectados a cada vértice individualmente.

Como vimos anteriormente, a relação entre dois atores não adjacentes pode depender de outros atores, principalmente, dos que estão no meio do caminho entre esses dois. O conceito deriva do fato de se um vértice se encontra na distância geodésica entre dois outros vértices, então significa que este ator é central na rede como um todo. A centralidade de intermediação (*betweenness*) consiste na proporção de vértices que se situam no meio do caminho mais curto entre quaisquer dois vértices (Wasserman & Faust, 1994).

Os conceitos abordados anteriormente têm o objetivo de avaliar a importância ou a *proeminência* de cada ator no contexto da rede a que pertence. Por outras palavras, um ator proeminente é aquele no qual as suas ligações o colocam visível aos restantes atores da rede. E esta importância é mensurável a partir e não só, das ligações diretas ou ligações adjacentes, mas também pelos caminhos indiretos envolvendo intermediários (S. Wasserman & Faust, 1994:172). O anexo C resume as principais métricas utilizadas na ARS.

#### 5.4. Conceitos avançados na Análise de Redes Sociais: os modelos ERGM

Esta secção da metodologia consiste em introduzir uma breve explicação dos diversos modelos empíricos para análise avançada em redes sociais de inovação. Em particular, os modelos de difusão de inovação que estão na base da análise socioeconómica das redes de inovação e permitirá suportar a opção da metodologia optada nesta investigação. Faremos aqui algumas

referências empíricas, ao modelo de Grafos Aleatórios Exponenciais (ERGM) utilizado nesta investigação.

### *Modelos de redes de difusão da inovação*

Nos últimos anos têm surgido diversos estudos empíricos que demonstram a potencialidade da ARS na explicação dos fenómenos associados à difusão da inovação, em particular, a colaboração entre entidades para o desenvolvimento da atividade de inovação. Como referido anteriormente, a inovação emerge dos processos de interação entre instituições como universidades, centros de investigação, empresas e outros *stakeholders* do ecossistema inovador (Etzkowitz, 2008; Nelson, 1993; Schumpeter, 1951).

Estas instituições inovadoras, produzem e trocam não só conhecimento, como também, capital financeiro e outros recursos nas redes de relacionamento que integram diversificados quadros institucionais ao nível local, regional ou nacional (Ahrweiler & Keane, 2013). Este fenómeno tem sido acompanhado por diversos estudos e modelos de combinações possíveis entre atores (p.e. Universidade-empresa, empresa-empresa, universidade-universidade), de possíveis ligações entre atores (p.e. Alianças de I&D, *spin-offs*) e especificamente as relações entre universidade e indústrias e redes inter-empresas (Ahrweiler & Keane, 2013; Ahrweiler, Pyka, & Gilbert, 2011; Porter, Whittington, & Powell, 2005; Salavisa, Sousa, & Fontes, 2012; Schilling & Phelps, 2005).

Como referido anteriormente as redes consistem em vértices e ligações explicadas pelas suas características topológicas, estruturais e medidas de centralidade, que proporcionam fundamentos para interpretar as redes de inovação. Por exemplo, Pyka, Gilbert & Ahrweiler (2011), exploram os aspetos das redes sem escala nas redes de inovação de Barabási e Watts (Barabási & Albert, 1999; Watts & Strogatz, 1998), as topologias de rede na otimização dos fluxos de conhecimento (e.g Cowan, Jonard, & Zimmermann, 2007) ou o estudo das “ligações fortes” e ligações fracas” na caracterização das redes de difusão de inovação (e.g Granovetter, 1973).<sup>37</sup>

Numa revisão da literatura sobre proximidade e inovação, Boschma (2005; 2010) afirma que os modelos baseados somente na proximidade geográfica das organizações, não são suficientes para explicar a formação das redes de conhecimento e inovação. O autor identifica cinco dimensões de

---

<sup>37</sup> São consideradas “ligações fortes” as ligações entre dois vértices (i.e díade), por exemplo, as relações de amizade, contratos ou interação face-a-face. As “ligações fracas” correspondem normalmente à perda de contactos interpessoais.

proximidade interorganizacional: cognitiva, organizacional, social, institucional e geográfica<sup>38</sup>. Enquanto a proximidade cognitiva é um pré-requisito para o processo de difusão e partilha de conhecimento, as restantes dimensões são mecanismos relevantes para aproximar os diferentes atores organizacionais e institucionais.

Uma proximidade forte ou fraca tem impactos substanciais no desenvolvimento das redes de inovação (Boschma, 2005). Redes que apresentam características de proximidade muito fortes, a capacidade de coordenação está, até determinado nível, facilitada pela cumplicidade entre os atores. Contudo, este fato pode contribuir em pouco para a interação ao nível de conhecimento e inovação, aliás promove o fenómeno de “lock-in”, ou seja, redes que se fecham em si mesmas e os seus atores tendem a protelar as mesmas ligações ao longo do tempo. Por outro lado, características de proximidade fracas, conduzem a desentendimentos, oportunismos e falta de externalidades geográficas da inovação.

Em suma, estas dimensões inerentes às características de proximidade podem ter um impacto positivo, resolvendo o problema da coordenação da rede, mas também negativo, com fenómeno de “lock-in”, nas redes de inovação. É de esperar que modelos de difusão de inovação, que incluem estas variáveis dimensionais, possam contribuir para o entendimento da formação das redes.

A maioria dos modelos de redes de difusão da inovação focam a sua análise nas estruturas e estados dos seus atores e ligações. No entanto, tem surgido alguns estudos que abordam o fenómeno de dinâmica dos atores (ou instituições) sob o seu espaço de inovação (Ahrweiler, 2010). A “dimensão de agência”, referida por Ahrweiler (2010), são processos e mecanismos que conferem aos indivíduos e organizações a capacidade de se moverem intencionalmente na sua envolvente institucional, formando e desenvolvendo redes de inovação.

Para compreender estes processos de formação de redes, é necessário identificar as complexas propriedades dos atores institucionais e suas ligações heterogéneas (Ahrweiler & Keane, 2013). Os atores das redes de inovação, sejam sociais, económicos ou institucionais, não estão estáticos, eles movem-se no espaço de inovação e interpretam diversos papéis na rede (p.e., produção de conhecimento, infraestrutura, coordenador). A compreensão da posição de um ator na

---

<sup>38</sup> Cognitiva (i.e., afastamento de conhecimento); Organizacional (i.e., controlo); Social (i.e., confiança, baseada nas relações sociais); Institucional (i.e., confiança, baseada em instituições comuns); geográfica (distância geográfica).

rede, requer a identificação das suas propriedades, comportamentos e estados, tal como a estrutura das suas ligações com os restantes.

No Espaço Europeu de Inovação, coexistem inúmeras organizações, empresas e instituições públicas ou privadas que se movem nesse espaço formando redes de inovação. E um ator nestas redes pode ter a propriedade de partilhar com outros atores a pertença ao mesmo projeto de investigação científica (p.e. FP7-NMP), contudo esta propriedade, por si só, pode não ser suficiente para refletir a formação de uma determinada rede, é necessário ponderar outras propriedades e fatores que justificam a escolha dos atores.

### *Modelos de análise estrutural de redes de inovação*

As redes de inovação configuram em si uma teia de ligações entre diversos atores que integram o conjunto de *stakeholders* dos sistemas de inovação nacionais com interligações transnacionais. Estas redes compreendem estruturas complexas, contendo no seu interior dinâmicas próprias e diversidades de atores com objetivos individuais e comuns, que são passíveis de serem analisadas à luz de modelos avançados de Análise de Redes Sociais.

Como referido anteriormente, podem ser encontrados na literatura da ARS um conjunto de modelos e metodologias de análise das redes. Thomas W. Valente (2005) sugere a classificação das redes de difusão de inovação em três grupos de modelos: os Modelos Macro que procuram comparar as taxas de crescimento das várias inovações; os Modelos de Autocorrelação Espacial, que pretendem estimar as taxas de difusão da inovação com uma componente espacial ou geográfica; e os Modelos de Redes, com o propósito de compreender a difusão da inovação por formações societais em rede.

Na perspetiva dos modelos de redes, Anna Goldenberg e Alice Zheng (2010) agrupam estes modelos em duas grandes categorias: os Modelos de Redes Estáticos, que avaliam estatisticamente as relações dos membros das redes ao nível local e global (p.e. modelos de grafos aleatórios, modelos estocásticos “blockmodels”); e os Modelos Dinâmicos para dados longitudinais, que pretendem avaliar estatisticamente as formações em redes ao longo do tempo (p.e. modelos “Small-World”, modelos Markov de tempo discreto e contínuo).

Existem quatro abordagens analíticas nos estudos de inovação com o potencial de analisar a formação de redes entre atores nas estruturas dos sistemas de inovação entre as demais: os grafos

aleatórios, as análises longitudinais, multinível e das redes ponderadas. Estes métodos avançados de análise de redes permitem avanços significativos na compreensão das estruturas internas das redes complexas que envolvem a gestão das redes de inovação (Powell & Grodal, 2009).

Para efeitos desta tese serão utilizados os modelos dos grafos aleatórios exponenciais ou na designação inglesa “Exponential Random Graph Models” (i.e., ERGM)<sup>39</sup> para formação de redes de inovação. Os ERGM podem contribuir para análise das políticas públicas de ciência e tecnologia, em particular, o impacto das diversas políticas científicas na formação de redes de inovação no 7ºPQ para o setor da nanotecnologia.

A família dos modelos de grafos aleatórios exponenciais, modelos estatísticos para a análise das estruturas das redes, permite elaborar inferências sobre os padrões das ligações entre os diversos vértices. Estes modelos consistem em quantificar o como e o porquê das ligações entre pares de membros de uma determinada rede (Lusher, Koskinen, & Robins, 2012; Robins, 2011).

Os modelos de ERGM partem da premissa de que a formação de ligações entre pares de membros não é feita aleatoriamente e de que existem fatores de dimensão quantitativa e qualitativa, inerentes à estrutura e aos seus membros, que originam ligações preferenciais entre ambos. Se consideramos que as redes de inovação no âmbito das políticas científicas europeias são formadas por diferentes instituições do sistema científico dos estados-membros, a escolha de parceiros estratégicos é algo complexo e não aleatório.

Os modelos ERGM permitem comparar determinadas características de uma rede observada com outra que é gerada aleatoriamente com o objetivo de testar a possibilidade de as redes sociais possuírem uma determinada característica relacional. Estas características podem ser analisadas ao nível da estrutura da rede, por exemplo, a existência de alguma reciprocidade entre membros da rede, ou então, ao nível dos atributos dos membros e como estes estão associados (Lee, 2016).

Robins *et al* (2001) refere que as ligações entre pares de membros das redes dependem dos atributos dos mesmos, ou seja, a probabilidade de existir uma ligação entre vértices de uma rede está estritamente ligada às características que o vértice possui. Afirma ainda que esses atributos são também resultado da estrutura da própria rede, ou por outras palavras, o autor sugere que as características dos membros dependem das configurações de rede, ou seja, dos seus vizinhos.

---

<sup>39</sup> A partir de agora esta sigla será usada para referir aos modelos de grafos aleatórios exponenciais.

Apesar dos esforços dos investigadores dos estudos de inovação, a metodologia ERGM está subaproveitada, mas o seu potencial é relevante para compreender as estruturas relacionais dos sistemas de inovação (Dodgson, Gann, & Phillips, 2013). Por exemplo, Lomi e Pattison (2006), revelam que dinâmica transferência de tecnologia entre indústrias no sul da Itália é resultado de formações triangulares entre os fabricantes. Estas estruturas, ou tríades, reforçam a confiança entre os atores dos sistemas de inovação regionais e nacionais.

Outros estudos empíricos com recursos ao ERGM (Hermans, Sartas, Van Schagen, van Asten, & Schut, 2017) indicam que a formação de redes de inovação entre diferentes *stakeholders* difere de país para país. Por exemplo, as ligações entre instituições locais e outras de níveis superiores (p.e. governamentais) são fracas, ou as Organizações Não-Governamentais e setor privado estão pouco representadas na formação de redes. As organizações com maior centralidade estão em melhor condições para colaborarem nas parcerias em rede; por outro lado, o crescimento da inovação é primordial em redes formadas por instituições do mesmo tipo em diferentes níveis do que formações de instituições de diferentes tipologias.

Numa perspetiva setorial, estudos sobre a rede de conhecimento na indústria da aviação, revelam a importância de fatores ao nível dos vértices (i.e atores) e estrutura das redes (Broekel & Hartog, 2013b). Utilizando a metodologia ERGM foi possível verificar, que os diferentes conceitos de proximidade entre organizações (p.e., geográfica, cognitiva, social, institucional e proximidade organizacional) (Boschma, 2005), são importantes na formação de redes quer ao nível dos vértices, díades ou estrutura interorganizacional da rede de inovação industrial.

Neste estudo, os autores (Broekel & Hartog, 2013b), recomendam três níveis de análise da proximidade na rede de inovação: ao nível das díades, ou seja, as características das propriedades dos relacionamentos entre dois atores na rede; ao nível dos vértices, identificando as propriedades singulares dos atores; e ao nível da estrutura, ou seja, as características de toda a rede com base em dois fatores (i.e., tríades e multiconectividade).

Na análise das relações interorganizacionais das redes de conhecimento, os autores (Broekel & Hartog, 2013a, 2013b) concluíram que a utilização dos modelos ERGM, introduzindo fatores de proximidade diferenciados, permitem explicar o fenómeno da formação de redes de inovação nos três níveis de análise: díades, vértices e estrutura.

Os Modelos ERGM, também podem ser encontrados em estudos setoriais como a biotecnologia, alguns autores (Hazir, 2013), avaliaram a dimensão de proximidade geográfica e tipologia institucional, nas formação de redes de inovação em projetos do 7º Programa-Quadro da União Europeia. E concluíram, por um lado, que instituições como Universidades e Centros de Investigação, tendem a apresentar índices de conectividade elevados, resultado de diversos consórcios entre ambos. Por outro, as instituições provenientes do centro da Europa (p.e. Alemanha, França), tendem a participar em consórcios tipicamente de dimensão reduzida. Por fim, os autores referem que o efeito de homofilia institucional não afeta significativamente a formação de redes de inovação.

Se por um lado a ARS nos fornece um número limitado de estatísticas descritivas (p.e. centralidade, densidade, coesividade), os modelos de inferência como os ERGM providenciam um conjunto de estatísticas que nos clarificam relativamente aos efeitos estruturais das redes. O principal objetivo ERGM é compreender as estruturas das redes estudadas (i.e. a redes das quais são recolhidos os dados) e os processos empíricos que as sustentam (Lusher & Robins, 2012).

### *Modelos estatísticos em Análise de Redes Sociais*

O desenvolvimento de modelos estatísticos e matemáticos na análise de redes sociais tem tido progressos significativos nos últimos anos, principalmente na última década. Numa compilação dos avanços nesta área, Peter Carrington, John Scott e Stanley Wasserman (2005) colmatam uma série de lacunas nos estudos das redes sociais. Os autores enaltecem as potencialidades da análise egocêntrica às redes sociais; se por um lado os estudos das redes estão focados nas propriedades das redes a nível global, uma visão egocêntrica das redes permite uma perspetiva posicional de cada ator na rede. Contudo, deixam algumas advertências para a dificuldade em adquirir amostras de dados, quando se desloca do global para o individual.

Para afastar da problemática de se requerer amostras conducentes com os dados, os autores (*idem*) sugerem a utilização de modelos probabilísticos de rede, em particular, aos métodos dos grafos aleatórios, nomeadamente os modelos de Bernoulli e lineares, ou mais recentemente, os modelos de Holland-Leinhardt, os designados  $p_1$ ,  $p^*$  e grafos aleatórios de Markov. Estes modelos caracterizam essencialmente as preferências latentes dos indivíduos para as suas ligações locais.

A família de grafos aleatórios exponenciais (i.e.,  $p^*$ ) deriva dos estudos da Wasserman e Robins (2005) sobre a generalização dos modelos de redes aleatórias de Markov<sup>40</sup>, permitindo a análise das redes sociais do ponto de vista local para o global. Com recurso a métodos estatísticos de regressão logística, estes modelos integram os primeiros níveis de distribuição dos vértices nas redes, com o objetivo de criar modelos mais próximos da realidade.

Sucintamente, os modelos ERGM assumem que os atores formam ligações entre si mediante os atributos individuais e as ligações existentes com os seus vizinhos. A estimação destes modelos faz-se com recurso a parâmetros que medem a regressão entre as configurações locais reais (p.e. ligações entre atores com o mesmo atributo, ligações recíprocas ou em formato de estrela) e outras configurações formadas aleatoriamente. São então, modelos probabilísticos que permitem explicar os fenómenos de formação das redes sociais.

Existem dois problemas quando se pretende aplicar estes modelos de regressão. O primeiro é que nestes modelos impera a assunção da independência das variáveis observada. Contudo, a presença ou ausência de uma ligação depende, como vimos anteriormente, das ligações entre membros da rede ou “interdependência de ligação”. Segundo porque, nestes modelos, o número de ligações é sempre muito superior ao número de membros. E os erros padrões em múltiplas regressões “encolhem” progressivamente, podendo levar a uma má interpretação dos dados, como o nível de significância de uma determinada variável preditora (Stevens & Verhoest, 2016).

Denote-se que a maioria dos modelos mencionados até aqui, são orientados para redes sociais de “um modo”, nas quais existem somente um tipo de vértices, entidades ou atores. Contudo, para redes de “dois modos”, com vértices de dois tipos (p.e. entidades e projetos), a avaliação das métricas apresentadas anteriormente, como as de centralidade são mais difíceis de calcular. É sugerida uma avaliação das métricas, em três perspetivas conceptuais (*idem*): a centralidade por grupo homogéneo de vértices; a centralidade num grafo bipartido (i.e duas categorias de vértices); e a centralidade nos grupos principais e periféricos.

Para efeitos desta investigação, os modelos de ERGM serão aplicados a redes de duas categorias (i.e. projetos e participantes), pois pretende-se analisar a formação de redes entre participantes dos projetos de inovação em nanotecnologia. Contudo, a opção de analisar somente as ligações entre participantes, não significa que os efeitos indiretos das características dos projetos não

---

<sup>40</sup> O princípio de dependência “markoviana” consiste em justificar que as ligações entre membros de uma rede não surgem aleatoriamente, mas sim, por uma razão específica de um membro escolher a quem se associa.

possam influenciar essa mesma análise. Para mitigar a complexidade da análise não serão incluídos nos modelos ERGM as características endógenas dos projetos (p.e. tipo de projeto de I&D ou valor de financiamento). Os efeitos indiretos dos projetos estarão inerentes como fator exógeno na formação das redes entre participantes.

A formação de redes é dinâmica, em particular as redes de difusão da inovação. A evolução da formação de uma rede é fruto das dinâmicas ao nível dos vértices. Por outras palavras, dependentes dos atributos dos vértices. Os modelos estocásticos focados nos vértices assumem que cada membro da rede controla um conjunto de variáveis de ligações de saída, limitando as mudanças da rede a uma ligação de cada vez, ou seja, a estrutura da rede num determinado momento pode depender dos atributos dos membros (Snijders, 2005).

Em suma, os Modelos ERGM assentam na premissa de que a evolução de uma rede segue um padrão estatístico semelhante às redes de Markov e a formação das ligações são resultado do tipo de interações e dos atributos dos atores da rede. Nas seções seguintes, serão descritos de forma mais aprofundada os modelos ERGM utilizados na metodologia de análise de redes de inovação propostas nesta investigação.

### *Modelos multivariados em redes sociais*

Como referido anteriormente uma rede social é na sua essência um conjunto de vértices unidos por ligações comuns a que designamos por díades. Em que cada vértice, representa uma entidade social, como um individuo ou organização e cada ligação representa uma determinada relação entre essas duas entidades sociais. A análise multivariada a dados de redes, compreende os atributos dos vértices bem como a estrutura relacional que os precede.

Nos últimos anos a análise multivariada de redes sociais tem-se tornado muito populares nos estudos sociais, quer numa visão analítica ou visual (Bezerianos, Chevalier, Dragicevic, Elmqvist, & Fekete, 2010; Kalyagin, Koldanov, & Pardalos, 2016; Muelder, Gou, Ma, & Zhou, 2014). As redes sociais complexas estão embebidas de um número elevado características intrínsecas e exógenas, que aumentam a complexidade da topologia da rede e não permitem análises estatísticas mais tradicionais.

Para avaliar estatisticamente as estruturas (i.e. endógenas) das redes sociais e os determinantes exógenos, com base nas interações observadas nas redes reais, os modelos p\* em

particular, os modelos de grafos aleatórios exponenciais (ERGM) são uma solução estatisticamente viável (De Stefano & Zaccarin, 2012).

As seções seguintes têm o propósito de descrever os modelos ERGM de uma forma sucinta, primeiro, através de uma resenha evolutiva destes modelos acompanhados por estudos empíricos, seguido da metodologia para a construção do modelo ERGM, que consiste na especificação, estimação e qualidade de ajustamento do modelo. Algumas conotações matemáticas são mais complexas e serão acompanhadas por clarificações em notas de rodapé ou em anexos.

### *Os modelos de grafos aleatórios exponenciais (ERGM)*

A família dos modelos de grafos aleatórios exponenciais inclui modelos estatísticos que expressam as propriedades estruturais das redes sociais observadas em um determinado momento temporal (Lusher & Robins, 2012; Snijders, Pattison, Robins, & Handcock, 2006). Modelar diferentes tendências e dependências estruturais das redes com base em modelos básicos probabilísticos é limitador em termos estatísticos; contudo, têm surgido algumas técnicas estatísticas, como os algoritmos de Monte Carlo baseados em Cadeias de Markov (MCMC)<sup>41</sup>, que produzem aproximações maximizadas dos estimadores pretendidos (Snijders et al., 2006).

Os modelos de grafos aleatórios têm a sua origem nos estudos desenvolvidos por Solomonoff e Rapoport (1951), Rapoport (1957) e Paul Erdős e Alfréd Rényi (1960). Estes modelos primordiais abordavam necessariamente a existência de formações de vértices de forma aleatória em redes, como meio de explicar as relações de conectividade, nomeadamente a força das ligações entre os vários vértices.

Estes modelos desenvolvidos pelos matemáticos Paul Erdős e Alfréd Rényi (1960) consistem na formação de  $n$  vértices e cada par destes vértices estão ligados por uma aresta com a probabilidade  $p$ . Ou seja, existe uma função probabilística ou aleatória na criação de ligações entre os vértices das redes. Contudo, e à medida que estes modelos se tornavam conhecidos e utilizados pelos investigadores, as redes da vida real demonstravam que os vértices não apresentavam ligações aleatórias<sup>42</sup>.

---

<sup>41</sup> Do inglês *Markov Chain Monte Carlo*

<sup>42</sup> No máximo existem  $pn(n-1)/2$  ligações distribuídas aleatoriamente.

A World-Wide-Web (WWW) é um exemplo destas redes complexas, onde as páginas estão ligadas pelos chamados *hyperlinks*, mas podemos este tipo de redes ao nível das células, nas quais reações químicas ligam os elementos. Se observarmos a “WEB” como um grafo aleatório, verifica-se que a distribuição de grau dos vértices (i.e. criação de *hyperlinks*) segue as leis da potência<sup>43</sup>.

Outros estudos empíricos nos quais os cientistas estão ligados pela co-autoria em um determinado artigo científico, demonstram que as redes de colaboração científica apresentam distâncias médias que entre vértices são relativamente pequenas e apresentam coeficientes de *clusterização* elevados, seguindo também as leis da potência (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000).

No âmbito das redes de colaboração científica, estudos realizados a partir das citações dos artigos científicos deduziram que a probabilidade de um artigo ser citado  $k$  vezes segue uma distribuição de potência (i.e., ligações para o vértice), enquanto a distribuição das arestas (i.e., ligações a partir do vértice) apresenta uma função exponencial (Newman, 2003).

Na verdade, estas redes reais, são *redes sem escala*, caracterizadas por distribuições que seguem a lei da potencia, onde a maioria dos vértices tem poucas ligações e só um número reduzido destes possuem um elevado número de ligações (Barabási & Albert, 1999). Nestas redes, a probabilidade de um vértice ligar a outro é proporcional ao seu grau na distribuição, no limite, um vértice com muitas ligações tende a associar a outro de elevado grau de ligações. A tendência é a formação de *hubs*, ou seja, concentração de ligações em poucos vértices, que asseguram a transferência entre vértices com menor grau.

Outros estudos indicam que as redes de inovação entre empresas, também apresentam características de *redes sem escala*. Lu e seus colegas (2013) verificaram que este tipo de redes de colaboração, aumentam positivamente o desempenho da inovação empresarial. O mesmo resultado pode ser verificado em *clusters* de inovação formados por grandes empresas (Jafari, Shariatpanahi, Zolfagharzadeh, & Mohammadi, 2016).

Voltando aos grafos aleatórios  $G(n,p)$ , como são conhecidos, estes variam a sua estrutura consoante a variação de  $p$ , ou seja, conforme a probabilidade de existência de arestas entre os vértices ( $n$ ). O número de arestas ligadas a um vértice, o grau do vértice e segue normalmente uma

---

<sup>43</sup>  $P(k) \propto k^{-\alpha}$ , consoante as probabilidades de hyperlinks direcionadas para a página ou hyperlinks da página para outras, respetivamente. Associadas às distribuições de Poisson.

distribuição binominal ou de *Poisson*<sup>44</sup>. No entanto, este tipo de distribuição apresenta formações pouco realísticas, em particular, no que respeita à transitividade<sup>45</sup>.

Foi então que Holland e Leinhardt (1981) introduziram o modelo “ $p^1$ ” no qual, são os vértices e não as arestas, que assumem relações independentes no modelo. Para os grafos não direcionados, os modelos  $p^1$  são idênticos aos modelos Bernoulli<sup>46</sup>.

Frank e Strauss (1986) desenvolveram os grafos aleatórios “markovianos” com o objetivo de assegurarem a dependência entre as diferentes probabilidades de formação de ligações entre os vértices, em particular, em redes aleatórias com distribuição de *Poisson*. As formações destas redes assentam na probabilidade condicionada entre pares de vértices, por exemplo, a probabilidade da ligação entre  $i$  e  $j$ , depende da existência das ligações entre os vértices  $i \rightarrow k$  e  $k \rightarrow j$ , ou dos seus pares adjacentes, a probabilidade de uma ligação entre  $i \rightarrow k$ , dependente também de outros pares adjacentes e assim por sucessivamente.

Wasserman e Pattison (1996) propuseram uma generalização do modelo  $p^1$ , a que designaram de  $p^*$  e introduziram ao modelo inicial a função *log-linear*, ou seja, uma função logarítmica que representa uma combinação linear de parâmetros, possibilitando regressões multivariadas. Esta evolução dos modelos “markovianos”, popularizou os modelos ERGM, pois estes são considerados pertencentes à classe  $p^*$ .

De acordo com Frank e Strauss (1986), o processo de Markov em distribuições de redes é idêntico às distribuições estocásticas, ou seja, uma sequência condicionada de variáveis aleatórias independentes. Por outras palavras, uma matriz de variáveis aleatórias pode ser considerada o grafo estocástico (i.e grafo de Markov) caso exista um conjunto de 4 vértices distintos e as variáveis aleatórias que os unem sejam condicionalmente independentes<sup>47</sup>.

---

<sup>44</sup> Os grafos aleatórios de Poisson, também designados por grafos E-R (Erdős-Rényi) consistem num determinado número de vértices,  $n$ , em que cada par de vértices estão ligados por uma aresta com uma probabilidade de  $p$ . Estes grafos são representados por  $G_{n,p}$ , ou seja, é o conjunto de todos os grafos com  $m$  arestas que surgem com a probabilidade de  $p^m(1-p)^{M-m}$ , no qual  $M=n(n-1)/2$  e a probabilidade de um vértice ter um grau  $k$  é  $P(k) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}$

<sup>45</sup> Se  $A \rightarrow B \rightarrow C$  logo  $A \rightarrow C$

<sup>46</sup> A distribuição de Bernoulli é discreta  $\{0,1\}$  e assume o valor de 1 quando a probabilidade de sucesso é  $p$  e 0 quando essa probabilidade é  $p-1$ .

<sup>47</sup> Um Processo de Markov é um processo estocástico, no qual as distribuições de probabilidade para o seu desenvolvimento futuro dependem somente do estado presente.

Os ERGMs são similares aos modelos de regressão logística na medida em que o valor da variável dependente tem uma dimensão binária, representada pela existência de ligação, entre determinados pares de membros da rede (Lee, 2016). Na regressão logística, é procurada a razão para a qual a variável dependente assume o valor de “1” influenciada ou associada às variáveis independentes. No contexto dos ERGMs as variáveis independentes são aquelas que influenciam a probabilidade de se formar ligações em determinados pares de membros da rede. Normalmente estas variáveis independentes são designadas por “configurações da rede”.

Se as variáveis independentes representam as configurações possíveis de arranjos entre os membros das redes, os seus parâmetros representam a magnitude dessas configurações na formação de ligações entre pares de membros. Por exemplo, para avaliar os fatores que influenciam a formação de uma determinada rede social de amigos, considerarmos a “reciprocidade” ( $X_1$ ) e o “género” ( $X_2$ ) entre membros de um grupo de indivíduos, o modelo de probabilidade condicionada pode ter a seguinte formulação:

*Equação 5.1 - Modelo de probabilidade condicionada*

$$P_r(Y_{ij} = 1 | X) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$$

na qual a variável  $Y_{ij}$  representa a existência de ligação “1” ou ausência “0” entre os membros da rede  $i$  e  $j$ .  $X_1$  é o número de ligações recíprocas e  $X_2$  o número de ligações entre membros do mesmo género. No caso do parâmetro  $\beta_k$  (p.e.  $\beta_1, \beta_2, \dots$ ) ser positivo e estatisticamente significativo, pode-se afirmar que a característica da rede  $X_k$  influencia positivamente a probabilidade da formação de uma ligação ente dois membros da rede.

No caso hipotético desta rede de amigos o coeficiente ou parâmetro estatístico de “reciprocidade” apresentar um valor positivo estatisticamente significativo<sup>48</sup>, isso significa que existem mais configurações em reciprocidade na rede observada do que numa rede, com os mesmos membros, mas formada aleatoriamente. Contudo, no caso da equação 3.1, e nos modelos ERGM a estimação dos parâmetros está limitada, porque a probabilidade de ser formada uma ligação entre

---

<sup>48</sup> O valor da significância é obtido pela leitura do *p-value* do modelo.

dois membros pode ser influenciada por outros membros da rede, e desta forma os valores da variável dependente não assumem o requisito de independência de qualquer regressão<sup>49</sup>.

A análise de estruturas das redes, utilizando os modelos ERGM, podem facultar a identificação dos fatores que levam dois atores interagem entre si, ou um particular ator socioeconómico tem uma posição específica numa rede de inovação, por outras palavras, estes modelos conferem uma análise econométrica sobre os dados de rede (van der Pol, 2016). No caso das redes, as ligações podem depender da estrutura da própria rede e os métodos tradicionais de análise econométrica não os mais adequados pois esta dependência, viola os pressupostos de independência das observações, algo que os modelos ERGM tem em conta na análise de redes (van der Pol, 2016).

A modelação econométrica dos ERGM pode ser feita em três fases (Snijders et al., 2006): a primeira consiste especificação do modelo, na qual são definidos os parâmetros de rede (p.e. estruturas em estrela, tríades) a serem introduzidos na análise; a segunda fase, consiste na estimação dos parâmetros através de algoritmos de aproximação (p.e. máxima verosimilhança); a terceira consiste na avaliação da qualidade de ajustamento do modelo (i.e. se os estimadores são suficientes para explicar a estrutura da rede). O Anexo D descreve com maior detalhe as fases de modelação dos modelos ERGM.

Para o efeito da análise das redes de inovação foram utilizadas algumas rotinas da linguagem de Programação R (Team, 2013), que permitiram simplificar o processo de avaliação do modelo ERGM.

Em suma, pode-se considerar que estes modelos de grafos aleatórios tentam representar a formação de redes, com base nas configurações das ligações entre os diferentes vértices e dependentes, das características dos mesmos. No contexto das redes de inovação, os modelos de grafos aleatórios como ERGMs podem identificar as ligações entre os diferentes tipos instituições e justificar a formação destas redes, impulsionadas por políticas públicas de inovação.

---

<sup>49</sup> No caso dos modelos ERGM são utilizados métodos de estimação baseados nas cadeias de Markov. Estes tipos de estimação serão abordados na secção de estimação do modelo ERGM.

## CAPÍTULO 6 – METODOLOGIAS DE INVESTIGAÇÃO: A DEFESA DE UM MODELO

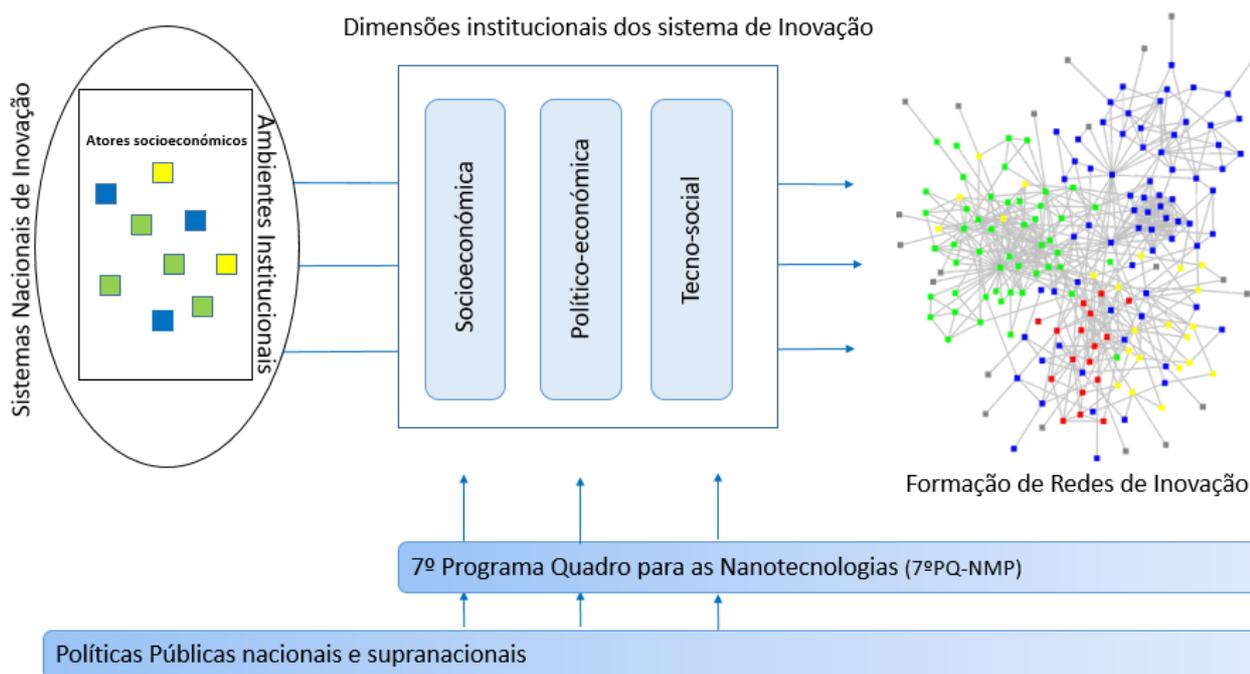
Neste capítulo, pretende-se apresentar um modelo conceptual de análise institucional das redes de inovação, fundamentado nas abordagens teóricas explanadas anteriormente, em particular a análise institucional sugerida por Raymund Werle (2011), através de três dimensões institucionais (socioeconómica, político-económica e tecno-sociológica) que alicerçarão o modelo proposto nesta investigação.

Este modelo servirá de base para a realização do trabalho empírico, sobretudo, de análise quantitativa de dados secundários e desenvolvimento de um modelo analítico de Análise de Redes Sociais. Espera-se assim responder à questão inicial, bem como explanar as hipóteses de investigação sugeridas.

### 6.1. Modelo concetual de análise institucional aos sistemas de inovação

O capítulo dois resume-se em duas abordagens teóricas à inovação, i.e., sistémica e institucionalista. Ambas contribuem para o modelo institucional aos sistemas de inovação (Figura 6.1). A abordagem sistémica contribui no enquadramento dos ambientes institucionais que envolvem os atores socioeconómicos (i.e., universidades, centros de investigação, empresas privadas e organismos públicos). A abordagem institucionalista está refletida nas políticas nacionais e supranacionais como o 7ºProgram-Quadro para a nanotecnologia que contribuem para o desenvolvimento de inovação através de projetos de I&D colaborativos. Estas colaborações institucionais entre os atores socioeconómicos e políticos, podem ser influenciadas pelas dimensões institucionalistas dos sistemas de inovação (Werle, 2011), que definem determinadas formações em rede.

Figura 6.1- Modelo conceitual de análise institucional ao sistema de redes de inovação



A abordagem institucionalista de Werle (2011), descrita no anteriormente é fundamental para a organização das dimensões institucionais dos sistemas de inovação. O modelo em epígrafe emprega uma grelha de análise, baseada num conjunto de fatores (i.e., variáveis) socioeconómicas (p.e. índices de especialização de produção científica e de inovação), variáveis político-económicas (p.e., Economias de Mercado Liberal ou Conservador), e Tecno-Social (p.e. Infraestruturas Científicas Nacionais). Este conjunto de variáveis formam dimensões institucionais que podem influenciar a formação de redes de inovação.

As variáveis que constituem as dimensões latentes que surgem da aplicação de políticas nacionais e supranacionais que condicionam os ambientes sistémicos e institucionais, onde os atores socioeconómicos desenvolvem a sua atividade de inovação. O 7º Programa-Quadro para as nanotecnologias concentra uma política pública supranacional que, pelos seus projetos, tem impacto na formação de redes de inovação tecnológica.

## 6.2. Hipóteses de investigação

Para responder à questão formulada no capítulo 1, “*quais os fatores sistémicos e institucionais que moldam a formação de redes de inovação em nanotecnologia e nanociências na*

*Europa?*”, e com base na revisão da literatura do capítulo anterior, são propostas algumas hipóteses a testar empiricamente:

H1. Os atores com o mesmo perfil institucional (p.e., Universidade, Centro de Investigação, Empresa), constituintes dos sistemas nacionais de inovação tendem formar ligações preferenciais entre si (i.e. homofilia institucional).

Pelas características únicas do 7ºPQ, os projetos de inovação tecnológica em nanotecnologias e nanociências, são constituídos por instituições ou organizações, no mínimo, de três estados membros. E são valorizados os projetos que incluem transferência de conhecimento para a indústria. Neste sentido, é exetável que estes projetos incluam diversas empresas, universidades e centros de investigação. E as redes emergentes destes projetos tendem a produzir alguma homogeneidade conjuntural, ou seja, a existência de uma tendência de ligações estratégicas entre atores da mesma tipologia institucional (i.e. homofilia).

H2. Os fatores socioeconómicos que caracterizam os sistemas nacionais de inovação determinam positivamente a formação de redes de inovação em projetos de I&D em nanotecnologia.

Pressupondo que a formação de redes de inovação no setor da nanotecnologia é impulsionada pelas políticas públicas nacionais e supranacionais, nomeadamente os projetos associados ao 7ºPQ-NMP, poderão existir fatores que impulsionam às configurações socioeconómicas dos sistemas de inovação, invocados anteriormente por alguns autores (Edquist, 1997; C. Freeman, 1991; Lundvall, 2010; Malerba et al., 2006). As instituições públicas e privadas como universidades, centros de investigação ou empresas tendem a formar configurações sistémicas ao nível nacional, regional, local ou mesmo, por tecnologia. Características únicas dos Sistemas Nacionais de Inovação podem conduzir uma “escolha racional”, na tomada de decisão do parceiro com quem participar em projetos de I&D.

H2.a – Ambientes institucionais com elevado nível de produção científica e de inovação em nanotecnologia e nanociências, influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.

H2.b – Ambientes institucionais com um número elevado de constituição de empresas especializadas em nanotecnologia e a comercialização de nano produtos, influenciam

positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.

H2.c - Ambientes institucionais com elevado nível de investimento público em nanotecnologia e nanociências, influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.

H3. Os fatores político-económicos que caracterizam atores dos sistemas nacionais de inovação determinam positivamente a formação de redes de inovação em projetos de I&D em nanotecnologia.

A atividade económica dos sistemas de inovação é definida por relações e trocas comerciais entre os seus atores, que operam em ambientes institucionais. Estes ambientes podem ser caracterizados por diversos fatores, nomeadamente do foro político e institucional (DiMaggio & Powell, 1983; Hall & Soskice, 2001; Hollingsworth, 2000; North, 1990). Pressupondo que a formação de redes de inovação no setor da nanotecnologia é impulsionada pelas políticas públicas nacionais e supranacionais, nomeadamente os projetos associados ao 7ºPQ-NMP, poderão existir fatores político-económicos latentes aos regimes institucionais. São exemplos a existência de planos estratégicos nacionais para o desenvolvimento da nanotecnologia ou políticas educativas orientadas para as nanociências e o tipo de regime capitalista em vigor nestes ambientes institucionais.

H3.a – Ambientes institucionais com elevado nível de implementação de planos estratégicos para a nanotecnologia e nanociências influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.

H3.b – Ambientes institucionais com formações avançadas em nanotecnologia e nanociências influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.

H3.c - Ambientes institucionais de regimes capitalistas (i.e economias liberais, conservadoras ou mistas), influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.

H4. Os fatores tecno-sociológicos que caracterizam atores dos sistemas nacionais de inovação determinam positivamente a formação de redes de inovação em projetos de I&D em nanotecnologia.

Os sistemas de inovação são, em certa medida configurações sociais, vigentes em ambientes institucionais e assentes em infraestruturas socio tecnológicas. A capacidade instalada, ao nível de infraestruturas tecnológicas, nos sistemas nacionais de inovação, é precursora do desenvolvimento das sociedades e do crescimento das economias baseadas em conhecimento, tecnologia e inovação. Pressupondo que a formação de redes de inovação no setor da nanotecnologia é impulsionada pelas políticas públicas nacionais e supranacionais, nomeadamente os projetos associados ao 7ºPQ-NMP, poderão existir fatores tecno-sociais latentes aos regimes institucionais.

H4.a - Ambientes institucionais que incorporem infraestruturas globais de I&D (i.e. projetos no âmbito 7PQ para as infraestruturas), influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.

H4.b - Ambientes institucionais que incorporem infraestruturas de I&D em nanotecnologia e nanociências (i.e. projetos no âmbito ESFRI), influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.

H4.c - Ambientes institucionais com elevados índices de cobertura de internet influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.

Este capítulo apresentou as principais dimensões institucionais num modelo para o estudo da formação de redes de inovação, que será aplicada na área da nanotecnologia na Europa. O modelo, assente na premissa de que existem três dimensões institucionais que influenciam a formação e configuração de redes entre atores sociais, económicos e institucionais nos diversos sistemas nacionais de inovação. Com base nestas premissas, foram desenvolvidas quatro hipóteses teóricas e suas variantes, a serem corroboradas pela análise da participação no 7PQ. A metodologia proposta nos capítulos seguintes pode ser um instrumento de modelação e interpretação da formação e redes de inovação.

### 6.3. Metodologias para recolha de dados em redes de inovação

Esta secção consiste em apresentar a metodologia seguida nesta investigação para a recolha de dados e escolha das variáveis para o estudo. Na análise de redes, entre outros, pode-se encontrar dois tipos de dados: os dados de atributos e dados relacionais. Os primeiros estão associados a metodologias que procuram analisar atitudes, perceções, comportamentos dos indivíduos ou grupos. Por outro lado, os dados relacionais, pretendem encontrar as ligações, entre esses indivíduos. A

Análise de Redes Sociais utiliza, precisamente, este tipo de dados para avaliar os padrões de relações entre os diversos atores do objeto de investigação.

John Scott (2012) identifica três principais tipos de análise de dados relacionais de acordo com as metodologias de investigação: a *análise de variáveis* quando se pretende avaliar dados de atributos dos atores das redes; a *análise tipológica* na presença de dados baseados em ideias; e por fim *análise de redes* quando os dados são de origem relacional. Os dados para estas análises podem ser recolhidos por intermédio de questionários, entrevistas, observações e documentos, conforme o tipo de investigação presente.

A estratégia para recolha de dados desta investigação consistiu em quatro etapas: 1ª enquadramento da dimensão teórica; 2ª identificação das fontes de dados disponíveis; 3ª coleta de dados; 4ª mineração e limpeza dos dados. Todo o processo de recolha de dados assentou na premissa de dados relacionais no contexto da Análise de Redes Sociais.

### *Recolha de dados para análise das redes de inovação*

Para esta investigação, a recolha de dados consistiu em duas fases primordiais para a análise de dados relacionais inerentes à metodologia empregue. A primeira fase contribuiu para a identificação e caracterização dos participantes envolvidas no 7º Programa-Quadro de Ciência e Tecnologia (7ºPQ), em particular os projetos relativos à nanotecnologia. A segunda fase consistiu na caracterização das envolventes institucionais a que pertencem os participantes do 7ºPQ NMP<sup>50</sup>.

Com recurso ao “EU Open Data Portal”<sup>51</sup>, a base de dados abertos da Comissão Europeia, foi possível adquirir uma lista de todos os participantes do 7ºPQ e seleccionar os projetos associados ao 7ºPQ NMP. Para a caracterização dos sistemas de inovação e ambiente institucional dos países membros foi necessário recorrer a diversas bases de dados online e relatórios técnicos que serviram de base para a descrição dos atributos dos participantes.

A utilização dos dados de projetos europeus para análises de redes é uma prática utilizada em diversos estudos académicos e relatórios técnicos (Barber, Krueger, Krueger, & Roediger-Schluga, 2006; Breschi & Cusmano, 2004; Directorate-General for Research et al., 2015; Garas & Argyrakis, 2009; Roediger-Schluga & Barber, 2008). De fato, os projetos dos Programas-Quadro

---

<sup>50</sup> FP7 NMP (Nanoscience, Nanotechnologies, Materials and New Production Technologies)

<sup>51</sup> Ver <https://data.europa.eu/euodp/data/>

são constituídos por instituições de diferentes países-membros que se relacionam por via dos projetos em que estão envolvidas. A existência de, no mínimo, duas instituições ou organizações de diferentes sistemas nacionais de inovação, torna os dados destes projetos relevantes para a Análise de Redes Sociais (ARS).

A recolha de dados para esta investigação recaiu principalmente sobre a base de dados CORDIS (Community Research and Development Information Service) da Comissão Europeia (CE)<sup>52</sup>. Esta base de dados contém muita informação relevante dos projetos financiados pela CE, como também algumas características dos proponentes que participam nesses projetos. Contudo, esta informação é por vezes inconsistente e errada, apresenta designações diferentes para as mesmas organizações ou departamentos diferentes na mesma instituição. Foi necessário fazer uma limpeza da base e corrigir alguns erros de identificação.

A primeira fase da recolha dos dados, foi definir um filtro para selecionar os projetos específicos do 7º PQ. Para o objetivo desta investigação, foram selecionados 806 projetos do 7ºPQ relativos ao programa operacional para nanotecnologia e respetivos participantes. Neste universo de projetos, foram identificados 4778 participantes únicos<sup>53</sup>, dos quais grande parte apresentava informações incompletas, nomeadamente, o tipo de organização no seu sistema nacional de inovação.

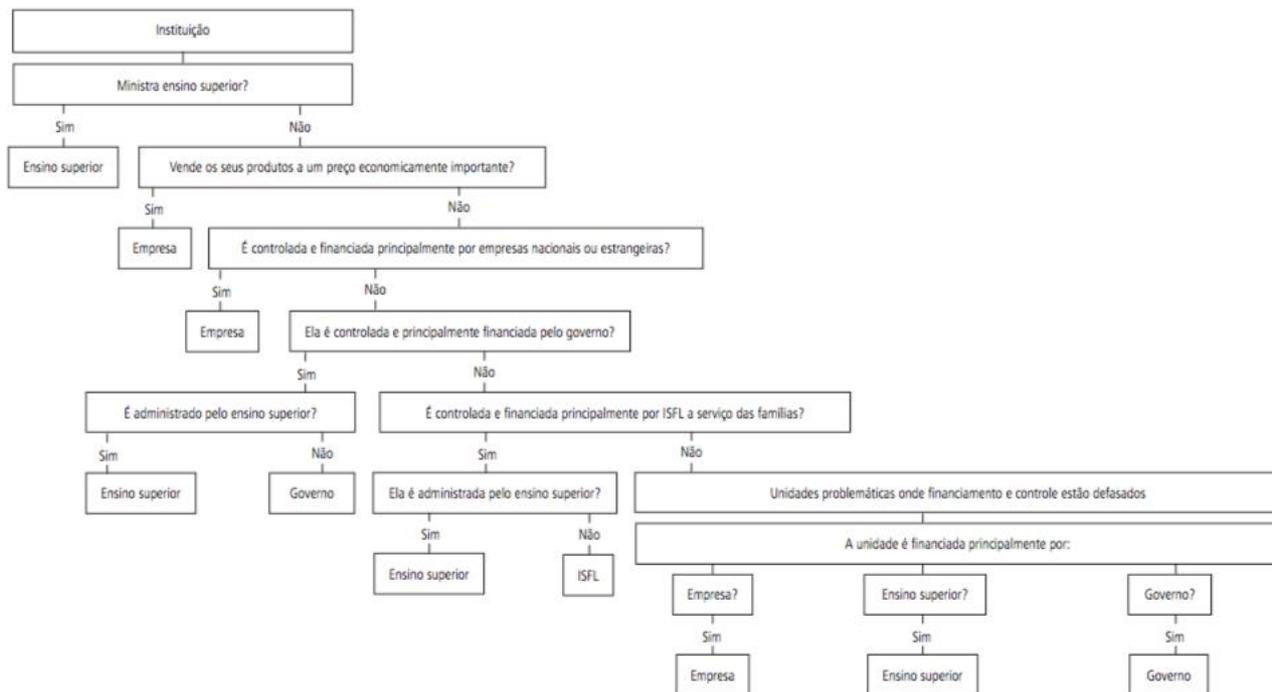
A fase seguinte consistiu em classificar os participantes pelo tipo de organização e país pertencente (i.e. estado-membro europeu). No que respeita ao país, a base de dados providencia essa informação, contudo, para tipologia de organização foi necessário averiguar em outras bases de dados e páginas online dos participantes. A classificação dos participantes foi feita segundo do Manual de Frascati (OECD, 2002, 2015a) e de acordo com a árvore de decisão, para a identificação de organizações nos sistemas científicos (ver figura 6.2).

---

<sup>52</sup> Ver [http://cordis.europa.eu/projects/home\\_en.html](http://cordis.europa.eu/projects/home_en.html)

<sup>53</sup> Para a análise do modelo analítico ERGM só foram considerados 4218 participantes, correspondentes aos participantes dos estados-membros da Europa.

Figura 6.2 - Arvore de decisão para a identificação das organizações segundo os setores dos sistemas de C&T



Setores: Empresa (Business Enterprise Setor, BES); Ensino Superior (Higher Education Setor, HES); Governo (Government, GOV); Instituições privadas Sem Fins Lucrativos (Private non-Profit Setor, OTH).

Fonte: OCDE (OECD, 2015a)

Após identificar e listar todos os participantes, a classificação do tipo de setor a que pertencem, foi complementada com recurso à base de dados mais recente da Comissão Europeia, o “EU Open Data Portal”, pois algumas das organizações listadas encontram-se nos projetos do “Horizonte 2020”<sup>54</sup>. No entanto, a maior parte da classificação foi feita com recurso à leitura das missões e objetivos, de cada um dos participantes, nas suas páginas online e segundo a classificação do Manual de Frascati (Figura 6.2).

A par da lista de participantes foram também iniciadas averiguações à lista de projetos e identificados a sua natureza em termos de tipo de financiamento, principais tipos de projeto (ver Quadros 6.1 e 6.2), datas de início e fim do projeto e o país coordenador do mesmo (ver Anexo E para lista completa de projetos).

<sup>54</sup> O “Horizonte 2020” é o 8º Programa-Quadro da Comissão Europeia e na base de dados abertos as organizações são classificadas pelo seu setor de atividade. Os dados foram listados numa folha de Excel®.

Quadro 6.1- Quantidade de projetos por tipo de financiamento

<b>Tipos de Financiamento</b>	<b>Projetos</b>	<b>%</b>
CP	41	5,09%
CP-FP	318	39,45%
CP-FP-SICA	3	0,37%
CP-IP	203	25,19%
CP-SICA	7	0,87%
CP-TP	129	16,00%
CSA-CA	47	5,83%
CSA-ERA-Plus	3	0,37%
CSA-SA	55	6,82%
<b>Total Geral</b>	<b>806</b>	

CP - Collaborative projects, CP-FP - Small or medium-scale focused research project, CP-FP-SICA - Small/medium-scale focused research project for specific cooperation actions dedicated to international cooperation partner countries(SICA), CP-IP - Large-scale integrating project, CP-SICA -Collaborative project for specific cooperation actions dedicated to international cooperation partner countries (SICA), CP-TP - Collaborative Project targeted to a special group (such as SMEs), CSA-CA - Coordination (or networking) actions, CSA-ERA-Plus - ERA-NET Plus, CSA-SA - Support actions -  
Fonte: CORDIS, 2017

Quadro 6.2 - Quantidade de Projetos por Tópico de I&D

<b>Tópicos de I&amp;D</b>	<b>Projetos</b>	<b>%</b>
EeB	54	6,70%
ENERGY	10	1,24%
ENV	5	0,62%
FoF	102	12,66%
GC	14	1,74%
GC-SST	2	0,25%
NMP	619	76,80%
<b>Total Geral</b>	<b>806</b>	

EeB (Edifícios Eficientes); ENERGY (Energia);ENV (Ambiente);FoF (Fabricas do Futuro);GC (Carros Verdes); GC-SST (Carros Verdes e Mobilidade Sustentável); NMP (Nanociencias, Nanomateriais e Produção)  
Fonte: CORDIS, 2017

A segunda fase da recolha de dados incidu na caracterização do ambiente institucional dos participantes dos participantes do 7ºPQ-NMP. Neste contexto, considera-se que o ambiente institucional são os sistemas nacionais de inovação e regimes institucionais e económicos dos 28 países-membros da EU.

Para este objetivo foram utilizadas base de dados de produção de conhecimento e inovação, como a Scopus® da Elsevier e o Espacenet do European Patent Office, bases de dados especializadas em nanotecnologia, como NanoTechMap ou o STATNANO; e ainda outras fontes de informação como o Eurostat e a OCDE.

A recolha de dados de produção de conhecimento e inovação foi elaborada com recurso à base de dados Scopus® e do European Patent Office, fontes de dados para elaboração de diversas métricas no setor da nanotecnologia (Ramboll Management Consulting Oy, Kungliga Tekniska Högskolan, & Spinverse Oy, 2013). Para a pesquisa de produção de conhecimento no Scopus® foi adotada uma metodologia de pesquisa booleana (ver Anexo F )para a seleção os artigos científicos

associados à nanotecnologia (Muñoz-Écija, Vargas-Quesada, Chinchilla-Rodríguez, Gómez-Núñez, & Moya-Anegón, 2013) para o período de 2007-2013, representante do 7º Programa-Quadro.

A opção de utilização da base de dados da Scopus® em detrimento de outras como a Web of Science® (WOS), recai sobre as vantagens de acesso e de interface de utilizador. A Scopus® consiste em uma base de dados de produção científica desde 1996 com recurso a fontes diversificadas multilinguística, mas com a particularidade de representar forma reforçada as ciências sociais e humanas e um interface ergonómico de visualização bem como uma procura eficiente por palavras-chave (Archambault, Campbell, Gingras, & Larivière, 2009; Martín-Martín, Orduna-Malea, Thelwall, & López-Cózar, 2018). No que concerne à nanotecnologia e nanociência, as bases de dados, Scopus® e WOS, apresentam um número idêntico de artigos científicos e citações (Archambault et al., 2009).

Para quantificar a produção de inovação recorreu-se ao European Patent Office, nomeadamente o portal esp@cenet. A utilização de patentes para caracterizar o setor da nanotecnologia é uma prática comum em investigações académicas (Scheu et al., 2006). Para este estudo, foi utilizada uma metodologia de pesquisa booleana (ver Anexo F) segundo a classificação das patentes em nanotecnologia e o país do aplicante (European Patent Office, 2013).

Outro elemento essencial na caracterização dos sistemas nacionais de inovação é a atividade empresarial e seus produtos ou serviços. Para este efeito foram recolhidos dados da base de dados online NanoTechMap (Nanotechnology, 2016), que espelha a base empresarial e industrial no setor da nanotecnologia na Europa (Hesto, Lourtioz, Dupas-Haeberlin, Lahmani, & Dubouchet, 2016; Illyefalvi-Vitez, 2014). Outras bases de dados online, complementam a recolha do número de empresas e produtos existentes no setor da nanotecnologia, como a Nanowerk, o NanoTechProject ou o STATNANO (Inshakova & Inshakov, 2017; StatNano, 2017).

O diretório Nanowerk é constituído por um pouco mais de 1400 empresas comerciais no setor da nanotecnologia e cerca de 40% são europeias. Esta base de dados ainda apresenta um diretório onde identifica o número de cursos e graus académicos, nos quais o foco são as nanociências e nanotecnologias (Invernizzi, 2011; Nanowerk, 2018a, 2018b). Por outro lado o diretório do NanoTechProject, existente desde 2005 lista mais de 1000 produtos de consumo baseados em nanomateriais e é referenciado em inúmeros artigos científicos (Berube, Searson, Morton, & Cummings, 2010; Carroll, Mullins, Murphy, McAlea, & Hester, 2016; PEN, 2013).

A base de dados STATNANO (2017), suportada pela comunidade científica iraniana, disponibiliza um diretório de indicadores sobre nanotecnologia, nomeadamente um repositório com documentos afetos às políticas públicas de diversos países europeus, direcionadas para o desenvolvimento das nanociências e nanotecnologias (Inshakova & Inshakov, 2017). Estes dados podem ser complementados com os indicadores e base de dados da OCDE, nomeadamente o “Directorate for Science, Technology and Innovation” (OECD, 2015c, 2015a, 2017; Soldatenko, 2011) e com os dados da EUROSTAT (2017). O quadro 6.3 resume o tipo de dados recolhidos nas diversas bases de dados consultadas.

Quadro 6.3 -Tipo de dados recolhidos por fonte de dados

Base de Dados	Tipologia de dados	Observações
Scopus® (Elsevier)	Artigos científicos	(Archambault et al., 2009; Elsevier, 2017; Martín-Martín et al., 2018; Muñoz-Écija et al., 2013)
Esp@cenet (European Patent Office)	Patentes	(EPO, 2017; Scheu et al., 2006)
NanoTechMap (Nanotechnology)	Empresas	(Hesto et al., 2016; Illyefalvi-Vitez, 2014; Nanotechnology, 2016)
STANANO (Iran Nanotechnology Initiative Council)	Políticas Públicas (i.e. Planos Estratégicos); Empresas; Produtos	(Inshakova & Inshakov, 2017; StatNano, 2017)
NanoWerk	Empresas; Educação; Produtos	(Carroll et al., 2016; Nanowerk, 2017)
NanoTech Project (PEN Project on Emerging Nanotechnologies)	Produtos	(Berube et al., 2010; Carroll et al., 2016; PEN, 2013)
OCDE; UNITAR	Políticas Públicas (i.e Planos Estratégicos)	(OECD, 2015c, 2017; Soldatenko, 2011)
OCDE	Indicadores de Ciência e Tecnologia	(OECD, 2015b)
EUROSTAT	Políticas Públicas (indicadores de Ciência e Tecnologia)	(Eurostat, 2017)
CORDIS; European Open Data Portal	Projetos Europeus em Nanotecnologia; Empresas; Instituições	(CORDIS, 2017; EU ODP, 2017)

No final da recolha de dados, foi possível obter dois resultados importantes para a metodologia de Análise de Redes Sociais. O primeiro foi uma lista agregada de instituições do 7ºPQ-NMP caracterizadas por tipo de organização, país e ambiente sócio económico e institucional. O segundo resultado é uma matriz de duas entradas, que relaciona estas instituições e os projetos que participam, uma matriz de afiliação  $(n,m)$  ou de “2 modos”.

Posteriormente esta matriz de projetos e participantes “2 modos”, foi transformada numa matriz de adjacência  $(m,m)$ , entre participantes, ou seja, uma matriz de “1 modo” representativa das ligações entre participantes. Uma matriz na qual, 1 significa a existência de uma ligação e 0 ausência de ligação entre dois participantes. Por outras palavras, se dois participantes tem no mínimo um projeto em comum, este fato representa a existência de uma ligação.

### *Construção das variáveis para análise das redes de inovação*

No seguimento da coleta de dados verificou-se a existência de inúmeras variáveis passíveis de serem analisadas à luz do institucionalismo da inovação. Para o propósito desta investigação, a seleção das variáveis consistiu no enquadramento das mesmas no modelo institucionalista de Werle às redes de inovação. Recorremos à perspetiva institucionalista de Raymund Werle (2005; 2012) sobre a inovação que consiste em três dimensões de análise: a dimensão socioeconómica, na qual encontramos as análises aos sistemas de inovação; a dimensão político-económica que avalia os regimes políticos e a sua influência na organização da inovação; e a dimensão tecno-sociológica, que pondera o impacto das infraestruturas tecnológicas como elemento essencial para o desenvolvimento da inovação.

Para este modelo de Análise de Redes Sociais (ARS), cada ator ou participante da rede assume as características da sua envolvente institucional, ou seja, os dados agregados de cada país são diretamente imputados aos vértices da rede (i.e. participantes). As relações diádicas dos vértices têm condicionantes associadas aos atributos mencionados, que permitirão o modelo estatístico ERGM, identificar quais os fatores que mais influenciam as ligações entre os atores das redes de inovação.

Na sequência da análise foi necessário determinar e averiguar as variáveis que compõem o modelo empírico proposto para avaliação. Aos modelos ERGM assiste uma dimensão variável dependente, ou seja, as ligações simples entre vértices, e as variáveis explicativas ou independentes.

Estas últimas são importantes para explicar a formação de ligações entre estes vértices, neste caso, atores institucionais do sistema de inovação em nanotecnologia na Europa.

As variáveis selecionadas para comporem o modelo foram construídas a partir de indicadores de ciência e tecnologia que caracterizam o esforço de cada país, região ou empresas para o desenvolvimento da ciência, tecnologia e inovação. Muitos destes indicadores, disponíveis em base de dados públicas<sup>55</sup>, medem os recursos financeiros, materiais e humanos no desenvolvimento da I&D, em patentes, em publicações científicas, etc (Boavida, 2015).

Diversas agências internacionais, como a OCDE ou o Eurostat compilam e disponibilizam dados oficiais sobre indicadores de ciência e tecnologia, que depois de organizados permitem avaliar e comparar programas e sistemas de inovação nacionais, regionais ou setoriais (Boavida, 2015; Gault, 2013). Estes indicadores de inovação são a base quantitativa de sustentação na elaboração das políticas públicas dos diversos países, em particular os europeus (Grupp & Mogege, 2004).

Os sistemas de inovação diferem de país para país e a formulação das políticas públicas também acompanham esta diferença, desta forma a criação de indicadores, muitos deles compostos, permitem avaliar e comparar sistemas e ambientes institucionais. Neste sentido, propõem-se identificar dois tipos de variáveis baseadas em indicadores de ciência, tecnologia e inovação, para serem analisados e interpretados no modelo conceptual, sugerido anteriormente.

### **Variável dependente:**

A construção da variável dependente consistiu na apropriação dos dados dos projetos do 7º PQ NMP, através do portal CORDIS e do European Open Data, nomeadamente uma lista de todos os participantes de cada projeto de Investigação e Desenvolvimento (I&D). Após transformações algébricas, esta lista conduz-nos a uma matriz de adjacência (Borgatti & Everett, 1997; Latapy, Magnien, & Del Vecchio, 2008) com duas entradas da categoria participantes.

Nesta matriz os dados estão organizados por ligações comuns, onde cada coluna (*i*) e linha (*j*) representa a instituição participante, respetivamente. Como cada participante pode transferir

---

<sup>55</sup> Ver Quadro 6.3 “Tipo de dados recolhidos por fonte de dados”.

conhecimento e recursos bilateralmente, consideramos que esta matriz de ligações é “não direta” ou bidirecional.

Na sequência da análise dos dados no modelo ERGM, a sua computação exige que a variável dependente apresente uma forma binária. Neste sentido, foi imputado à matriz uma variável binária, 1 se o valor da célula de entrada for superior ou igual à unidade e 0 caso contrário. Este processo resulta de uma matriz de adjacência, referida anteriormente, na qual o “1” representa existência de ligação entre a participante ( $j$ ) e ( $i$ ) e “0” caso não existir qualquer ligação.

Pinheiro *et al* (2016), analisa 553 projetos de I&D do 7º Programa Quadro numa análise de redes sociais, com o objetivo de avaliar as dimensões de capital social na partilha de recursos nos projetos. Foram empregadas duas metodologias da ARS, o LRQP<sup>56</sup> e os modelos ERGM, das quais concluíram que as dimensões de capital social, influenciam a partilha de recursos no projetos de cooperação de inovação.

Para realizar esta análise os autores (Pinheiro et al., 2016), identificaram como variável dependente nos modelos de ERGM, a matriz de adjacência, resultante das ligações entre participantes dos projetos de I&D do 7º PQ. Como variáveis independentes ou explicativas foram escolhidas matrizes que representam as dimensões de capital social (i.e. estrutural, cognitiva e relacional).

### **Variáveis Explicativas:**

No contexto da ARS, as redes de inovação podem ser avaliadas em dois níveis (Dean Lusher, Robins, & Koskinen, 2012): ao nível da estrutura da rede; e ao nível dos vértices (i.e. local). O primeiro, constitui os efeitos estruturais endógenos da rede, ou seja, as configurações relacionais entre os atores das redes. O segundo, os efeitos exógenos inerentes aos atributos assumidos pelos atores das redes. Ambos fazem parte da estimação dos modelos ERGM.

Os efeitos estruturais nos modelos de ERGM, consistem nos parâmetros de estimação dos modelos ou nas “forças endógenas” que determinam se as ligações entre vértices ocorrem mais ou menos que as esperadas em ligações criadas ao acaso (Belso-Martínez & Rovira-Jover, 2012). Os parâmetros em análise incluem a reciprocidade, a transitividade e alguns parâmetros alternativos

---

<sup>56</sup> “Logistic regression quadratic assignment procedure” ou Procedimento de Atribuição Quadrática de regressão Logística.

como as formações em “k-estrela” com objetivo de diminuir a degeneração do modelo (Robins, Pattison, Kalish, & Lusher, 2007; Snijders et al., 2006). O modelo inclui ainda uma série de parâmetros adicionais que pretendem captar a influência dos atributos socioinstitucionais dos participantes para formarem ligações (Kolaczyk, 2009).

Na Análise de Redes Sociais o parâmetro de reciprocidade permite avaliar os padrões de reciprocidade da rede. Contudo, como a rede de inovação em análise é “não direcional,” o efeito de reciprocidade terá uma interpretação limitada visto que o grafo resultante desta configuração é bidirecional (i.e. ligações de dois sentidos). A transitividade consiste na formação de tríades entre as instituições participantes e refletem o conceito da propensão dos “amigos dos amigos de se tornar também amigos”. Para estimar a transitividade ou o número de formações em triângulo na rede de inovação foram introduzidos o parâmetro de triangulação, GWESP<sup>57</sup> sugerido por vários autores (Hunter & Handcock, 2006; Snijders *et al.*, 2006).

Os atributos dos vértices podem ter dois tipos de impacto ou influência na construção das redes: os efeitos principais; e as interações. Os efeitos principais podem assumir valores quantitativos contínuos (covariáveis) ou fatores qualitativos discretos (categorias). Os efeitos das interações controlam os padrões de entrosamento entre os atributos qualitativos dos vértices (Morris, Handcock, & Hunter, 2008).

Para o efeito desta análise foram selecionadas duas dimensões de atributos ou características das instituições participantes nos programas de I&D do 7ºPQ NMP. A primeira dimensão corresponde à tipologia de instituição segundo a classificação recomendada pelo Manual de Frascati (OECD, 2015a)<sup>58</sup>. O tipo de organização pode ser imperativo para a formação de ligações preferenciais (Asheim & Gertler, 2009; Newman, 2001) como de um efeito de “lock-in” industrial se tratasse (*cf.* Crespo, Suire, & Vicente, 2013; Zhang, 2009).

A segunda dimensão de atributos confere aos vértices as suas características institucionais, por outras palavras, os aspetos socioeconómicos, político-institucionais e tecno-sociais, podem influenciar a formação de redes em projetos de I&D (Werle et al., 2012) . A semelhança entre regimes institucionais e económicos os atributos contribuem para a formação de ligações entre

---

<sup>57</sup> GWESP (*geometrically weighted edgewise-shared partner*)

<sup>58</sup> BUS – Empresas; GOV – Instituições governamentais; HES – Instituições do Ensino Superior; RES – Centros de Investigação Científica; OTH - Outros

instituições e organizações dos sistemas nacionais de inovação (Lee & Bai, 2013), sugerindo a existência de um tipo de homofilia institucional (Hazir, 2013).

Segundo Werle (2005; 2012), as variáveis socioeconômicas associadas aos investimentos públicos e privados, bem como a atividade empresarial na inovação (p.e. patentes) podem refletir a capacidade inovativa dos países. Apesar da tipologia de inovação tecnológica, as condições institucionais dos países ou setores econômicos, podem contribuir para a avaliação do seu “paradigma tecnológico” (Werle *et al.*, 2012).

Para efeitos dos atributos socioeconômicos foram selecionados cinco variáveis construídas a partir de indicadores associados aos sistemas de inovação e compilados a partir de diversas base de dados (ver quadro 6.4). Variáveis de ciência, investigação e inovação, como a produção de artigos científicos, patentes e I&D público e privado são indicadores privilegiados para avaliar as capacidades dos sistemas de nacionais de inovação (Fagerberg & Srholec, 2008; Malerba *et al.*, 2006).

A produção de artigos científicos e de patentes, referenciadas anteriormente foram sujeitas a uma transformação analítica para melhorar a sua análise comparativa. Foram criados dois índices de especialização que comparam os estados-membros segundo a sua intensidade de produção científica e inovadora de uma determinada área científica (p.e. nanotecnologia) e as restantes áreas. A utilização de índices de especialização tem sido debatida por diversos académicos, no entanto pode-se afirmar que existem dois tipos de índices: os índices absolutos e os relativos (Palan, 2010).

Abramo, D’Ángelo & DiCosta (2014b, 2014a), propõem uma análise de bibliometria para aceder ao grau de especialização das diversas regiões europeias. Os autores, utilizaram o conceito de índice de especialização científica para comparar a *força* dos sistemas regionais de inovação. Este indicador baseado no índice de Balassa (1979), permite avaliar a produção científica de uma determinada região ou país sem ter em conta a sua dimensão em termos populacionais. Para efeitos do quadro 6.4, optou-se pela adaptação de um índice de especialização<sup>59</sup>, utilizado pela Comissão Europeia na análise dos perfis científicos regionais (Campbell *et al.*, 2013).

---

<sup>59</sup> O índice de especialização é calculado neste quadro segundo a seguinte formula:  $SI = \frac{X_s/X_T}{N_s/N_T}$  em que  $X_s$  – Publicações (ou patentes) em nanotecnologia do país respetivo.  $X_T$  – Publicações (ou patentes) do país respetivo.  $N_s$  – Publicações (ou patentes) em nanotecnologia de todos os países.  $N_T$  - Publicações (ou patentes) de todos os países.

Os sistemas nacionais de inovação através de políticas tecnológicas promotoras para o desenvolvimento das capacidades competitivas das empresas, que podem aceder a redes de colaboração com o objetivo de difundir as suas inovações, bem como absorver e adaptar as inovações tecnológicas existentes nestes sistemas (OECD, 1999). Desta forma, foram identificadas segundo a perspetiva da ARS os efeitos dos atributos socioeconómicos para construção das redes de inovação (quadro 6.4).

Para os efeitos endógenos político-económicos, Werle (2012) sugere que os arranjos institucionais, quer ao nível nacional ou setorial são fruto dos *sistemas sociais de produção* (Hollingsworth, 2000) que promovem diferentes abordagens à inovação tecnológica. A análise destes sistemas requer uma abordagem institucional fundamentada nas Variedades de Capitalismo (VdC) estudadas em profundidade por Peter Hall e Soskice (2001), que sugerem dois tipos de regimes económicos de produção: as Economias de Mercado Liberal (EML) e as Economias de Mercado Coordenadas (EMC).

Na abordagem institucional aos sistemas de inovação, os níveis de educação são dimensões preponderantes na diferenciação entre países (Pinto & Santos Pereira, 2013). Os sistemas de educação são elementos de análise segundo as VdC, e fazem parte das estratégias políticas nacionais (Lypov, 2015; Pinto & Santos Pereira, 2013). A estratégia para o desenvolvimento dos sistemas de inovação passa por promover a formação de profissionais altamente qualificados, através de uma política de ensino superior adequada.

Numa perspetiva institucional mais abrangente, a responsabilidade dos governos nacionais sobressai pela sua intervenção nos sistemas de inovação. As instituições pertencentes aos sistemas de inovação, podem ser intervencionadas e influenciadas pelas opções políticas nacionais (Merçan & Göktaş, 2011). Através da legislação apropriada os governos marcam não só agenda política (Kingdon & Thurber, 1984), como também envolvem todos os *stakeholders* nas estratégias setoriais. As políticas setoriais, existem para resolver os desafios da sociedade, nomeadamente para dar resposta aos desafios das tecnologias emergentes como a nanotecnologia (Anderson & Slade, 2013).

Uma análise competitiva aos planos estratégicos nacionais, nomeadamente ao nível de intervenção política nos sistemas de inovação, pode ser um indicador político-económico para as tecnologias emergentes. Por exemplo, o “Austrian Nanotechnology Action Plan (2009-12)” ou

“Action Plan Nanotechnology 2015”, da Austria e Alemanha respectivamente, são dois planos estratégicos políticos dedicados ao desenvolvimento da nanotecnologia. Por outro lado, a Espanha com “Plan Estatal de Investigación Científica y de innovación 2013-2016” ou a Estónia com “Estonian National Strategic Reference Framework 2007-2013”, incluem a aposta na nanotecnologia na sua estratégia global para a ciência e tecnologia.

O quadro 6.4, inclui na dimensão respetiva, a variável que reflete o nível de intervenção para o setor da nanotecnologia em cada estado-membro europeu. Esta variável compara os estados-membros, pelo número de opções políticas em termos de planos estratégicos orientados para a nanotecnologia e programas europeus para a ciência e tecnologia<sup>60</sup>.

A análise institucional de Werle (2012), é definida por uma terceira dimensão, designada por tecno-sociológica. O autor refere, que o institucionalismo avalia os sistemas de infraestruturas tecnológicas, através da análise dos “Grandes Sistemas Tecnológicos” (GST), nos quais as instituições são parte integrante dos sistemas e o seu foco está na coordenação e regulação que emerge durante o processo de I&D.

A análise aos GST foi cunhada no início dos anos 80 pelos estudos de Hughes (1987) e tem como ponto de partida a análise da implementação dos sistemas tecnológicos de eletrificação das cidades de Chicago, Londres e Berlin. Estes sistemas foram não só exigentes tecnologicamente envolvendo um largo número de *stakeholders*, mas também o quadro político-institucional de cada cidade teve influencia na implementação dos respetivos projetos, nomeadamente no grau de centralização, integração e eficiência do sistema de inovação tecnológica associado.

As infraestruturas tecnológicas conferem aos sistemas de inovação determinadas mudanças tecnológicas com elevado impacto transformador. Por exemplo a internet foi um processo de desenvolvimento tecnológico que libertou um extraordinário potencial de inovação para sociedade Werle (2012). Em suma o autor, refere que o alcance das mudanças impactadas pelas infraestruturas tecnológicas, são consequências das mudanças político-institucionais que influenciam as instituições, o mercado onde atuam, as redes que formam e a hierarquia que as confere.

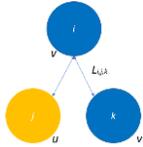
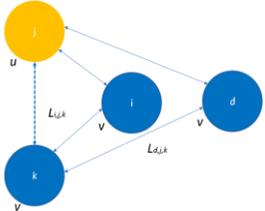
---

<sup>60</sup> Níveis de intervenção política construídas pelo autor: A – Existência de planos estratégicos especializados em nanotecnologia em conjunto com as políticas de I&D nacionais e europeias (p.e. Programas-Quadro); B – Programas nacionais para a I&D e outros (centros de investigação nanotecnologia, sociedades científicas e académicas para a nanotecnologia, e outras políticas setoriais); C- Programas nacionais e/ou europeus para a I&D; D – não disponível

A dimensão tecno-sociológica é evidenciada no quadro 6.4, através da agregação de três indicadores potencialmente representativos dos “Grandes Sistemas Tecnológicos” com impacto no desenvolvimento da nanotecnologia. Desta forma, foi analisada a cobertura de internet por estado-membro, bem como número de projetos associados ao 7ºPQ para as infraestruturas, em específico na nanotecnologia e em geral para as restantes áreas científicas.

O quadro 6.4 congrega em si, uma seleção de variáveis endógenas e exógenas, associadas aos participantes no 7ºPQ para a nanotecnologia. Por um lado, os indicadores das dimensões institucionais dos sistemas de inovação propostos por Werle (2005; 2012), representados por 15 variáveis, que pretendem caracterizar em conjunto com a tipologia de institucional, os atributos exógenos da formação de redes de inovação. Por outro, estruturas topológicas de redes, que são os atributos de endógenos da formação de redes de inovação.

Quadro 6.4 - Atributos dos atores da rede de inovação segundo as dimensões socioinstitucionais (variáveis explicativas)

Dimensões	Variáveis	Fontes	Enquadramento Teórico
<b>Variáveis ao nível da Estrutura</b>			
	<p>1.1 <i>Ligações</i> (Propensão para se formar uma ligação entre dois participantes do 7ºPQNMP, na ausência de qualquer outro efeito.)</p>  <p>(ligação simples entre participante com atributo (v) e o participantes com o atributo (u)).</p> <p>1.2 2-Stars (Propensão para configurações alternativas em “estrela”)</p>  <p>(“2-star” participantes com atributos (v, u))</p> <p>1.3 GWESP (Propensão para configurações triangulares numa perspetiva de ligações preferenciais dos participantes com atributos (u,v)).</p> 	<p>O modelo ERGM</p>	<p>Estatísticas e métodos de estimação dos modelos propostos por Snijders (2006) e Hunter (2007; 2008). Modelação de ERGMs (Bomiriya, 2014)</p> <p>Nota: A rede analisada é não direcional na qual só serão empregues as estatísticas coerentes com esta tipologia.</p> <p>Estatísticas que requerem parâmetros de degeneração <math>\tau</math> (Broekel &amp; Hartog, 2013a; Hunter, 2007), (Hunter &amp; Handcock, 2006; Morris et al., 2008):</p> <p>2-Star  GWESP (<i>Geometrically Weighted Edgewise Shared Partner</i>).  Modelação de ERGMs (Bomiriya, 2014)</p>

<b>Variáveis ao nível dos Vértices (atributos)</b>			
<b>Tipologia</b>	2.1 GOV (participantes governamentais) 2.2 HES (participantes do Ensino Superior) 2.3 BUS (empresas privadas) 2.4 RE (Centros de investigação científica)	Dados da pesquisa CORDIS	Classificação das instituições participantes nos projetos de I&D, segundo a metodologia empregue no Manual de Frascati (OECD, 2015a). Modelação de ERGMs (Bomiriya, 2014).
<b>Socioeconómica</b>	3.1 SOC_GBAORD (Despesas públicas em Inovação em %PIB) 3.2 SOC_SI_KNW (Índice de especialização de produção de artigos científicos “nano”) 3.3 SOC_SI_INNOV (Índice de especialização de produção de patentes “nano”) 3.4 SOC_BUS (Empresas no setor nanotecnologia) 3.5 SOC_PROD (Nano-produtos no mercado)	Eurostat Scopus European Patent Office NanoTechMap Nanotech Project (PEN) StatNano	Teoria dos sistemas de inovação preconizados por Christopher Freeman (1987), Richard Nelson (1993), Bengt-Ake Lundvall (2010). O efeito dos atributos como covariáveis da propensão para a criação de relações (Frank & Strauss, 1986; Park & Newman, 2004, 2005). Índice de especialização (Abramo et al., 2014b) Enquadrado no quadro concetual de Raymund Werle (2005; 2012). Modelação de ERGMs (Bomiriya, 2014)
<b>Político-económica</b>	4.1 POL_SP (Políticas Públicas para Nanotecnologia, Planos estratégicos) 4.2 POL_DEGREE (Políticas de Educação, formação avançada em nanotecnologia) 4.3 POL_VoC (Regimes político-institucionais “VoC”)	StatNano Governos Nacionais (paginas online institucionais) NanoWerk Literatura especializada (Peter A Hall, 2018) (Cerami & Stubbs, 2011)	Teoria institucionalista, em particular o novo institucionalismo de Peter Hall e Soskice (2001) e Hollingsworth (2006). O efeito dos atributos como covariáveis da propensão para a criação de relações (Frank & Strauss, 1986; Park & Newman, 2004, 2005). Enquadrado no quadro concetual de Raymund Werle (2005; 2012). Modelação de ERGMs (Bomiriya, 2014).
<b>Tecno-sociológica</b>	3.1 TEC_ESFRI (Infraestruturas para a nanotecnologia, “RoadMap2010”) 3.2 TEC_FP7INFRA (Infraestruturas de C&T ao abrigo do 7ºPQ) 3.4 TEC_NET (Acesso à Internet)	European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI) CORDIS OCDE	Estudos dos Grandes Sistemas Técnicos de Thomas Hughes (1993;1987;1988). O efeito dos atributos como covariáveis da propensão para a criação de relações (Frank & Strauss, 1986; Park & Newman, 2004, 2005). Enquadrado no quadro concetual de Raymund Werle (2005; 2012). Modelação de ERGMs (Bomiriya, 2014).

Fonte: dados da pesquisa

A construção das variáveis são um passo importante para estimar o modelo ERGM empregue neste caso à análise de redes de inovação associadas ao 7ºPQ NMP. Com a definição dos atributos ou covariáveis individuais dos vértices, a robustez do modelo estatístico é reforçado na medida em que a escolha de um conjunto de estatísticas apropriadas e os grafos simulados são contributos importantes para a qualidade de ajustamento do modelo (Hunter, Goodreau, et al., 2008).

Este capítulo pretendeu introduzir os conceitos de modelação de redes sociais, por via dos Modelos de Grafos Exponenciais Aleatórios (i.e., ERGM) e como estes podem ser utilizados para explicar a formação de redes de inovação. Após uma introdução aos conceitos fundamentais da modelação de redes, foi descrita a metodologia utilizada nesta investigação, nomeadamente a coleta de dados e a especificação do modelo ERGM, incluído as variáveis utilizadas na análise. Após definida a metodologia, o capítulo seguinte remete para a descrição da amostra e análise dos resultados do modelo ERGM.

## CAPÍTULO 7 – ANÁLISE DAS REDES DE INOVAÇÃO EM TECNOLOGIAS EMERGENTES: A NANOTECNOLOGIA NA EUROPA

As políticas para a ciência, tecnologia e inovação da União Europeia têm contribuído para o desenvolvimento de redes de inovação entre os estados-membros sob o desígnio dos Programas-Quadro. Estas políticas públicas são direcionadas para um leque abrangente de problemas sociotécnicos que resultam em milhares de projetos científicos e tecnológicos. No âmbito do 7 Programa-Quadro foram desenvolvidos projetos para promover a cooperação de diversas instituições públicas e privadas, no setor das nanociências e nanotecnologias. Destes projetos foram germinadas redes de colaboração interorganizacionais entre participantes de vários estados-membros.

No capítulo anterior fomos levados a compreender o fenómeno da criação de redes e como estas podem ser avaliadas ou analisadas à luz de vários conceitos teóricos e determinadas por modelos mais ou menos complexos. Estes conceitos com o contributo da revisão da literatura contribuíram para a construção de 15 variáveis endógenas, pertencentes a 4 dimensões institucionais da inovação que podem influenciar a formação de redes de inovação entre os participantes do 7º Programa-Quadro para Nanotecnologia.

Este capítulo pretende descrever a formação destas redes pan-europeias de inovação no setor da nanotecnologia e apresentar os resultados de um modelo de análise de redes de inovação. Na primeira seção propomos fazer uma análise descritiva dos dados produzidos pelas características da rede, seguido de uma secção na qual serão apresentados os resultados da modelação estatística das variáveis que caracterizam os participantes dessas mesmas redes de inovação.

### 7.1. Caracterização das redes institucionais de inovação em nanotecnologia

O 7º Programa Quadro para a nanotecnologia é constituído por projetos de I&D com âmbitos científicos diferentes (ver quadro 4.2), organizados em 7 tópicos específicos<sup>61</sup>, dos quais três são caracterizados por iniciativas Parcerias Público-Privadas (PPPs), nomeadamente “Fabrics of Future”, “Energy efficient building” (EeB) e “Green Cars” incluindo o “Green Cars- Sustainable Surface Transport”. Estes últimos tópicos, assentam particularmente em projetos com elevada

---

<sup>61</sup> Nanotecnologia, novos Materiais e novas tecnologias de Produção (NMP); Ambiente (ENV); Energia (ENERGY); e as parcerias público-privadas, Energia eficientes na construção (EeB); Fábricas do Futuro (FoF); Carros ecológicos (GC) e mobilidade sustentável (GC-SST).

presença de empresas e de tecnologia (Enzing, Mahieu, Poel, Potau, Beckert, Gotsch, Som, Thielmann, & Reiß, 2015).

Os projetos do 7º Programa-Quadro para a Nanotecnologia (7ºPQ-NMP) são constituídos, no mínimo, por três participantes de diferentes Estados-membros. Estes participantes são caracterizados em quatro dimensões institucionais da inovação: a dimensão sociotécnica associada ao tipo de instituição (i.e., organismo governamental, ensino superior, centro de investigação, empresa) e ao estado-membro; e outras três dimensões institucionais da inovação (i.e. socioeconómica, político económica, sócio tecnológica).

Estes pressupostos são a base para a formação de redes de colaboração heterogéneas. Contudo, espera-se que determinados estados-membros apresentem características diferenciadas face ao seu desenvolvimento científico e tecnológico. Os dados resultantes da análise descritiva e da rede são diversos e de categorias diferentes; assim sendo, é proposta uma repartição a três níveis: uma perspetiva macro com visão institucional dos sistemas de inovação (por estado-membro), outra meso com a visão tipológica (por estado-membro) e por fim, uma visão micro ou mais particular dos participantes das redes de inovação (Análise de Redes Sociais).

Para a perspetiva macro, utiliza os estados-membros da União Europeia segundo os diversos indicadores propostos na abordagem institucionalista dos sistemas de inovação. A perspetiva meso assenta na análise das redes de inovação e na sua composição, quer ao nível da participação dos estados-membros, quer dos elementos constituintes das próprias redes. A terceira perspetiva pretende contribuir para a análise descritiva das redes numa visão micro, ou seja, dos participantes nos projetos e suas ligações nas redes de inovação.

### *Perspetiva Macro*

As políticas científicas são fruto dos esforços dos governos nacionais para garantir o desenvolvimento socioeconómico das suas populações. Este esforço está refletido na dimensão nos seus sistemas nacionais de inovação, constituído por organismos públicos e privados, empresas e centros de saber e de investigação (Etzkowitz, 2008; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000; Nelson, 1993). As apropriações das políticas europeias para inovação são também reflexo do estado de desenvolvimento dos sistemas de inovação e da capacidade institucional de cada Estado-membro.

O quadro 7.1 resulta na caracterização dos estados-membros segundo a metodologia optada no capítulo anterior, em particular pelas dimensões institucionais da inovação, nomeadamente os fatores socioeconómicos. As políticas nacionais para a nanotecnologia podem ser avaliadas segundo os critérios de especialização de conhecimento e inovação, ou mais amplamente, pelo orçamento de estado disponibilizado para ciência e inovação (Campbell *et al.*, 2013). Por outro lado, os estados-membros também podem ser caracterizados pelo fato de terem um tecido empresarial e produtos especializados no setor da nanotecnologia.

Quadro 7.1 - Caracterização dos estados-membros segundo os fatores institucionais socioeconómicos dos sistemas de inovação (dados respeitantes ao período vigente do 7º PQNMP 2007-2013)

	Índice de especialização de Conhecimento em nanotecnologia (a)	Índice de especialização de Inovação em nanotecnologia (b)	Empresas no setor da nanotecnologia (c)	Comercialização de nano-produtos (d)	Orçamento para C&T (e)	Ranking Europeu de Inovação (f)
<b>Dinamarca</b>	0,85	0,46	25,98	47	1,83	4
<b>Finlândia</b>	0,97	0,77	18,04	6	1,78	4
<b>Alemanha</b>	1,17	0,87	27,30	354	2,07	4
<b>Suécia</b>	0,96	0,70	12,83	25	1,64	4
<b>Áustria</b>	0,82	0,67	3,81	16	1,61	3
<b>Bélgica</b>	0,96	1,39	4,01	32	1,21	3
<b>Croácia</b>	0,46	0,10	0,00		1,46	3
<b>França</b>	1,19	1,23	7,48	91	1,27	3
<b>Irlanda</b>	1,29	0,92	13,88	28	1,04	3
<b>Luxemburgo</b>	0,88	0,33	0,00		1,56	3
<b>Holanda</b>	0,62	2,08	7,31	49	1,60	3
<b>Eslovénia</b>	1,20	0,55	1,62		0,83	3
<b>Reino Unido</b>	0,73	1,11	18,66	428	1,26	3
<b>Chipre</b>	0,83	1,13	3,80		0,80	2
<b>República Checa</b>	1,08	0,41	1,36	22	1,62	2
<b>Estónia</b>	0,94	0,38	5,33	1	2,18	2
<b>Grécia</b>	0,99	0,77	0,64	17	0,81	2
<b>Hungria</b>	1,00	0,27	0,73	11	1,35	2
<b>Itália</b>	1,01	0,73	1,19	28	1,07	2
<b>Lituânia</b>	1,01	0,46	3,49	11	1,05	2
<b>Malta</b>	0,07	1,15	0,00		0,70	2
<b>Polónia</b>	1,04	0,34	0,56	53	0,88	2
<b>Portugal</b>	1,03	0,44	0,35		1,96	2
<b>Eslováquia</b>	1,04	0,15	0,25	28	1,04	2
<b>Espanha</b>	1,07	1,05	2,40	30	1,24	2
<b>Bulgária</b>	1,67	0,36	0,63		0,66	1
<b>Latvia</b>	2,06	0,40	2,26	1	0,39	1
<b>Roménia</b>	1,65	0,27	0,51		0,60	1

(a) Índice de especialização em artigos científicos (intensidade de investigação em nanotecnologia) (b) Índice de especialização em patentes (intensidade de inovação em nanotecnologia) (c) Empresas no setor da nanotecnologia por cada 1000 empresa ativas (d) Número de nano-produtos comercializados por empresas especializadas (e) Orçamento programado para Ciência e Tecnologia (GBOARD) (f) Ranking Europeu para Inovação (EIS: 4 – Líderes inovadores; 3- Inovadores Fortes; 2- Inovadores Moderado; 1 – Inovadores Modestos)

Os dados representados no quadro anterior, espelham a diferença acentuada entre os diversos estados-membros, no que respeita aos investimentos públicos e privados na investigação e desenvolvimento do setor da nanotecnologia. Verifica-se que os países com elevado ranking de inovação, são também os estados-membros, que apresentam maior nível de especialização de conhecimento e inovação no setor da nanotecnologia. Contudo, o grupo líder deste ranking, apresenta diferenças ao nível da especialização, tal como o grupo de países “Inovadores Fortes” diferem neste parâmetro de análise.

Verifica-se que os estados-membros com visível nível de liderança científica e tecnológica apresentam indicadores socioeconómicos mais equilibrados. Os países do centro e norte da Europa, em particular a Alemanha e a Dinamarca, têm os seus sistemas de inovação tecnológica mais eficientes no setor da nanotecnologia do que outros, mais mediterrânicos, como Grécia ou Malta. Os dados também revelam uma diferença entre os índices de especialização em conhecimento e inovação. O caso da Holanda expõe bem esta diferença, por um lado, tem uma especialização em inovação muito acima da referência média, por outro, o nível de especialização em conhecimento é menor do que a referência média. Demonstrando uma aposta significativa na produção de inovação em forma de patentes na área da nanotecnologia.

Os regimes políticos e estratégias políticas nacionais são também elementos de diferenciação entre estados-membros. Os desenvolvimentos dos sistemas de inovação resultam em parte dos ambientes políticos; por outras palavras, a implementação de políticas públicas direcionadas para determinada tecnologia tem impacto na dinâmica dos sistemas de inovação. Esta dimensão política constituída por economias liberais ou conservadoras, pode ser acompanhada por orientações específicas para o setor da nanotecnologia, como a implementação de planos estratégicos ou a formação especializada.

Se observarmos o quadro 7.2, somos levados a concordar que a introdução de políticas públicas para a nanotecnologia é transversal aos regimes políticos capitalistas de vertente liberal e conservadora. No entanto, identificamos que os estados-membros com sistemas de inovação mais robustos são os mesmos que investem mais na educação e formação de quadros superiores especializados em nanociências e nanotecnologia. Reino Unido, Alemanha e França são os países que mais se destacam neste indicador e são precisamente países com regimes políticos capitalistas diferentes.

Quadro 7.2 - Caracterização dos estados-membros segundo os fatores institucionais político-económicos dos sistemas de inovação

	Planos estratégicos para a nanotecnologia*	Formação em nanociências e nanotecnologias	Regimes políticos
Alemanha	A	25	CME
Áustria	A		CME
Finlândia	A		CME
Holanda	A	11	CME
Irlanda	A	1	LME
Polónia	A	1	LME
Reino Unido	A	29	LME
Romania	A		LME
Suécia	A	5	CME
Bélgica	B	3	CME
Bulgária	B		CME
Croácia	B		CME
Dinamarca	B	13	CME
Eslováquia	B		LME
Eslovénia	B	1	LME
Espanha	B	6	MME
Estónia	B		LME
França	B	24	MME
Grécia	B	1	MME
Hungria	B	1	LME
Latvia	B		LME
Lituânia	B		LME
Portugal	B	2	MME
República Checa	B	4	LME
Chipre	C	1	MME
Itália	C	1	MME
Luxemburgo	C		CME
Malta	C		MME

\*Período 2007-2013. A- Possui planos estratégicos específicos para o setor da nanotecnologia; B- Possui planos estratégicos nacional de I&D e algumas políticas públicas direcionadas (e.g centros de I&D ou associações científicas especializadas em nanociências e nanotecnologias); C – Possui planos de I&D transversais ao sistema de inovação nacional (e.g Programa-Quadros). Formação em nanociências e nanotecnologias ao nível de mestrados e doutoramentos. LME – Economia de Mercado Liberal; CME – Economia de Mercado Conservadora; MNE – Economias de Mercado Mistas (inclui as mediterrâneas).

Parece claro que o regime político-económico pode não determinar a aposta em políticas públicas para nanotecnologia. No entanto, verificamos que existe uma liderança inequívoca dos países germânicos como a Alemanha e Áustria e do norte da Europa como a Finlândia ou o Reino Unido. São estados-membros que desenvolveram iniciativas políticas direcionadas para as nanociências e nanotecnologia, como por exemplo, planos estratégicos de médio e longo prazo.

No caso da Alemanha, o apoio institucional aos sistemas de inovação é evidente nas políticas científicas e industriais nacionais. Em particular, as políticas para a nanotecnologia refletidas no “Plano de Ação para a Nanotecnologia 2015”, um plano iniciado em 2011 e para quatro anos, no qual o governo alemão é explícito ao referir como objetivo nacional a nanotecnologia para a sustentabilidade do crescimento económico e para educação e investigação.

A Áustria, com o seu “Austrian Nanotechnology Action Plan (2009-2012)” coloca-se na vanguarda da inovação nano tecnológica. Um plano estratégico que foca sobretudo os fatores ambientais, da sustentabilidade do meio ambiente à segurança das pessoas. Esta estratégia para a nanotecnologia austríaca foi desenvolvida pelos diversos *stakeholders* e apresenta uma série de recomendações levadas a cabo pelo governo austríaco.

Outros países como Portugal não definiram um plano estratégico explícito para a nanotecnologia. Contudo, foram feitos esforços significantes para a criação de infraestruturas de I&D específicas, como é o caso o INL – Laboratório Ibérico Internacional para a Nanotecnologia. O INL é uma infraestrutura que foi criada em 2005, em conjunto pelos governos português e espanhol, e dedica-se a investigação de ponta em nanociências e nanotecnologias para a saúde, ambiente, energia e TICs.

O nível de infraestruturas científicas e tecnológicas são espelho da dinâmica institucional dos sistemas de inovação nacionais. Numa perspetiva socio-tecnológica, considera-se que um país com uma boa cobertura de internet pode promover não só a difusão da informação, como a estreita comunicação entre a comunidade científica. Outra estratégia mais abrangente é a política europeia para a criação de infraestruturas dedicadas à I&D em nanotecnologia (i.e. ESFRI) e os projetos do 7ºPQ dedicados às infraestruturas (i.e. subprograma Capacidades) que contribui para dinâmica sociotecnológica dos sistemas de inovação. O quadro 7.3 caracteriza os estados-membros pela sua capacidade de desenvolver infraestruturas nacionais de I&D e para a nanotecnologia.

Quadro 7.3 - Caracterização dos estados-membros segundo os fatores institucionais tecno-sociológicos dos sistemas de inovação

	<b>Infraestruturas para a nanotecnologia (ESFRI)</b>	<b>Projetos no 7ºPQ (infraestruturas)</b>	<b>Cobertura de Internet</b>
<b>Áustria</b>		71	82,86
<b>Bélgica</b>	5	91	90,29
<b>Bulgária</b>		39	69,86
<b>Chipre</b>		20	85,29
<b>República Checa</b>		66	85,14
<b>Croácia</b>		15	82,86
<b>Dinamarca</b>		74	87,57
<b>Estónia</b>		17	89,14
<b>Finlândia</b>		76	96,00
<b>França</b>	1	277	94,00
<b>Alemanha</b>	5	275	88,14
<b>Grécia</b>	1	118	78,71
<b>Hungria</b>		78	79,71
<b>Irlanda</b>	3	52	84,86
<b>Itália</b>	2	236	86,00
<b>Latvia</b>		19	74,43
<b>Lituânia</b>		15	77,29
<b>Luxemburgo</b>		7	90,00
<b>Malta</b>		12	92,57
<b>Holanda</b>	2	199	91,29
<b>Polónia</b>		99	68,71
<b>Portugal</b>	1*	60	85,29
<b>Roménia</b>		49	49,67
<b>Eslováquia</b>	1	24	82,14
<b>Eslovénia</b>		33	89,43
<b>Espanha</b>	5	191	94,14
<b>Suécia</b>	2	113	92,14
<b>Reino Unido</b>	7	270	88,86

\* Apesar do INL não pertencer ao programa ESFRI, consideramos introduzi-lo nestes dados.

Os dados do quadro 7.3, revelam a existência de disparidades nas infraestruturas para a nanotecnologia. Os países que mais beneficiaram com as políticas europeias para as infraestruturas científicas foram o Reino Unido a Alemanha, Bélgica e Espanha. São estados-membros que apostaram em estratégias para infraestruturas de I&D especializadas em nanotecnologia e integraram mais projetos do 7ºPQ para as infraestruturas. No que refere à cobertura de internet, uma estrutura crítica para o desenvolvimento e disseminação do conhecimento é um dado adquirido que este tipo de infraestrutura é um fator estratégico transversal a todos os estados-membros.

Numa perspetiva macro, pode-se afirmar que existe divergência nas políticas públicas para a ciência e tecnologia, e isso reflete-se de forma particularmente clara no desenvolvimento da nanotecnologia. Países como a Alemanha, Áustria e Reino Unido, com sistemas nacionais de inovação desenvolvidos, demonstraram um foco em políticas para a nanotecnologia. Outros países como Portugal ou a Grécia, apostaram sobretudo no desenvolvimento do setor da nanotecnologia, pela introdução das políticas de infraestruturas abrangidas nos projetos do 7ºPQ. São estados-membros que revelam algum desígnio nacional para a nanotecnologia, com produção e conhecimento e de inovação, mas retraem-se nas políticas estratégicas e de infraestrutura especializadas.

A perspetiva macro aqui descrita sugere que o ambiente institucional refletido nas dimensões, socioeconómicas, político económicas e socio tecnológicas, são um fator preponderante no desenvolvimento dos sistemas nacionais de inovação. As diferentes opções estratégicas na implementação de políticas nacionais e europeias, determinaram que os Estados-membros seguissem caminhos distintos no desenvolvimento de tecnologias emergentes como a nanotecnologia. Os fatores institucionais evidenciados anteriormente, podem contribuir para compreender alguns fenómenos de colaboração em rede, entre os participantes dos projetos de nanotecnologia do 7ºPQ.

### *Perspetiva Meso*

Se enquadrarmos os projetos do 7ºPQ como pontos agregadores de participantes dos sistemas tecnológicos nacionais, somos levados a interpretar a dinâmica institucional dos sistemas de inovação como uma rede de colaboração entre instituições diferentes dos diversos estados-membros. A perspetiva meso desta análise de dados, pode ser traduzida na descrição dos elementos participantes das redes, promovidas pelos respetivos projetos de inovação.

O ambiente institucional dos sistemas de inovação é constituído por diversas organizações públicas e privadas que contribuem para o desenvolvimento da nanotecnologia europeia. O 7ºPQ-NMP, sendo uma linha programática do 7ºPQ, pretende promover a formação de redes de colaboração científica e tecnológica para a resolução de problemas sociais nas áreas das nanociências e nanotecnologias.

Nestas redes, surgem participantes de vários setores de atividade económica e industrial: por um lado temos as empresas, entidade fundamental de inovação, por outro, os polos do saber como as Universidades e os Centros de Investigação. O papel mediador do governo e das entidades governamentais para a I&D, não deve ser descurado na formação das redes de inovação. O quadro 7.4 permite analisar as dinâmicas de participação dos estados-membros em termos da sua participação por tipo de instituição em projetos em nanotecnologia, quantificando o tipo e a entidade nos projetos do 7ºPQ-NMP.

*Quadro 7.4 - Número de participantes por tipo de instituição de inovação e estado-membro*

	<b>Empresas (BUS)</b>	<b>Governo (GOV)</b>	<b>Ensino Superior (HES)</b>	<b>Centros de Investigação (REC)</b>	<b>Outros</b>	<b>Total</b>
<b>Alemanha</b>	654	16	91	72	16	<b>849</b>
<b>Itália</b>	334	17	44	49	15	<b>459</b>
<b>Reino Unido</b>	320	17	66	16	18	<b>437</b>
<b>Espanha</b>	287	27	38	76	17	<b>445</b>
<b>França</b>	268	20	52	38	20	<b>398</b>
<b>Holanda</b>	187	13	15	11	6	<b>232</b>
<b>Suécia</b>	129	10	17	8	6	<b>170</b>
<b>Bélgica</b>	112	8	13	25	40	<b>198</b>
<b>Áustria</b>	83	6	16	17	7	<b>129</b>
<b>Finlândia</b>	76	6	11	8	1	<b>102</b>
<b>Grécia</b>	71	7	10	7	3	<b>98</b>
<b>Dinamarca</b>	70	3	7	6	1	<b>87</b>
<b>Portugal</b>	58	5	12	16	4	<b>95</b>
<b>Rep. Chéca</b>	52	7	11	9	1	<b>80</b>
<b>Polónia</b>	50	5	17	21	5	<b>98</b>
<b>Irlanda</b>	48	5	11	1		<b>65</b>
<b>Roménia</b>	29	5	7	11	3	<b>55</b>
<b>Eslovénia</b>	29	6	3	4	1	<b>43</b>
<b>Hungria</b>	25	5	7	5	2	<b>44</b>
<b>Eslováquia</b>	18	5	4	4	1	<b>32</b>
<b>Lituânia</b>	13	5	2	3	1	<b>24</b>
<b>Bulgária</b>	11	3	2	3	1	<b>20</b>
<b>Luxemburgo</b>	9	1	1	2		<b>13</b>
<b>Chipre</b>	6	1	2		1	<b>10</b>
<b>Croácia</b>	4	1	2	2		<b>9</b>
<b>Estónia</b>	3	4	2		1	<b>10</b>
<b>Látvia</b>	3	2	3	2		<b>10</b>
<b>Malta</b>	3	3				<b>6</b>
<b>Total</b>	<b>2952</b>	<b>213</b>	<b>466</b>	<b>416</b>	<b>171</b>	<b>4218</b>

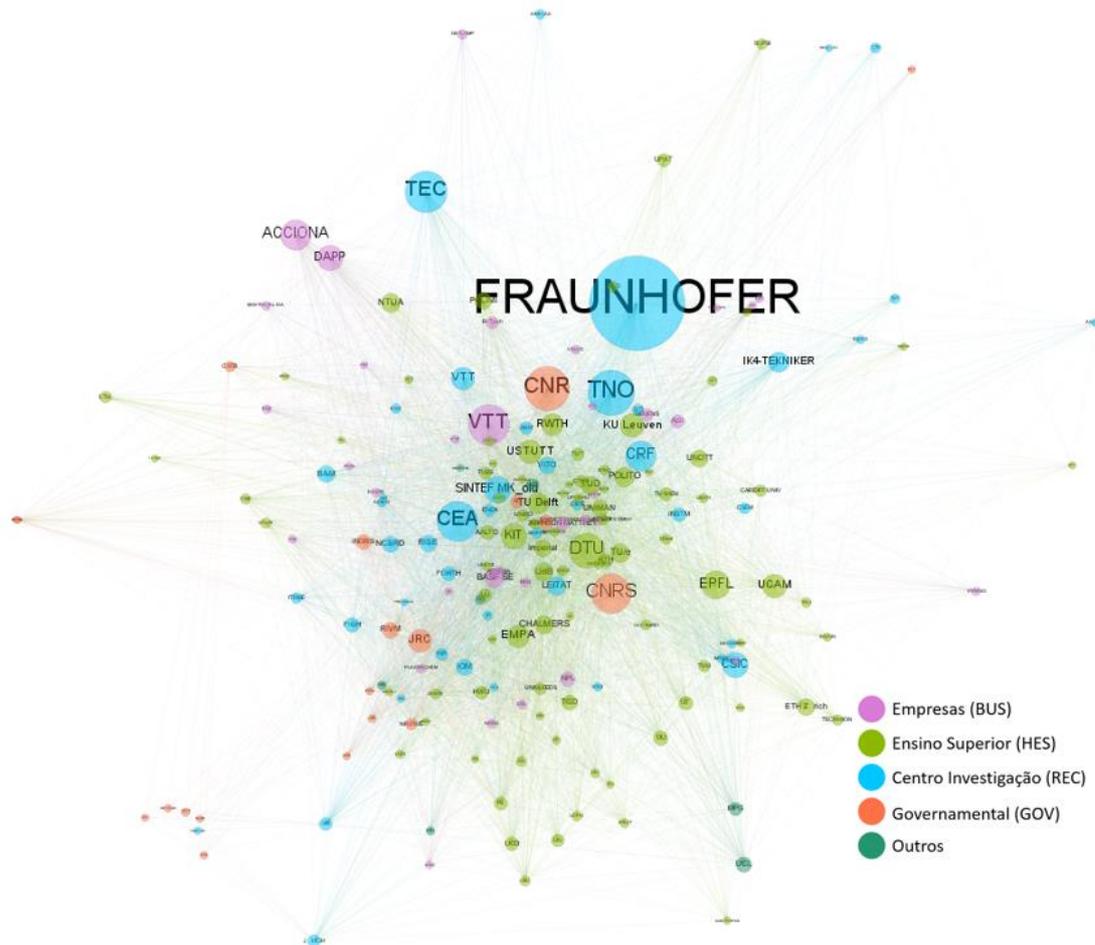
Podemos retirar duas grandes ilações dos dados: existe uma diferença significativa de participação entre os estados-membros; e a participação de empresas nos projetos de inovação é muito relevante. Esta última deve-se ao fato do Programa-Quadro ser uma política dirigida para o desenvolvimento de soluções tecnológicas e introdução de produtos e serviços no mercado. No entanto, os dados revelam que a Alemanha distingue-se dos outros, “campeã” na corrida à nanotecnologia e representa 20% do total dos participantes, com mais empresas, universidades e centros de investigação em projetos de inovação.

Na liderança da investigação em nanotecnologia, mas a grande distancia da Alemanha, estão a Itália, Espanha, Reino Unido e França, países com regimes económicos diferentes, mas com sistemas de inovação bem desenvolvidos, o que se reflete na participação aos projetos do 7ºPQ-NMP. Estes são também, os estados-membros que, por meio de organismos estatais de I&D, mais intervenção governamental têm nas redes de colaboração científica e tecnológica.

O perfil deste Programa-Quadro para soluções competitivas está também refletido na participação de mais centros de investigação do que instituições do ensino superior. Contudo, deve ser feita a justiça metodológica, pois grande parte destes centros de investigação, apesar de terem formas legais distintas das universidades, reportam cientificamente às instituições universitárias. A figura 7.1 apresenta a rede de inovação formada a partir dos participantes dos projetos do 7ºPQ-NMP, por tipologia de organização, com mais de 100 ligações.

A partir desta rede pode-se verificar que os participantes com maior relevo topológico são os Centros de Investigação (azul), nomeadamente o instituto alemão, FRAUNHOFER, com inúmeras ligações aos restantes centros e restantes participantes. Destacam-se ainda três organizações do foro privado as empresas ACCIONA (Espanha), PPOLONIA SPA (DAPP) (Itália) e a VTT (holanda). E duas organizações governamentais, o CNRS francês e CNR italiano, com grande relevo nos sistemas nacionais de inovação dos respetivos países.

Figura 7.1- Rede de inovação em nanotecnologia (7ºPQ-NMP) por tipo de participante com mais de 100 ligações



Fonte: dados da pesquisa, Cordis (CORDIS, 2017; EU ODP, 2017). Imagem gerada pelo software Gephi

Os dados da rede configuram uma estrutura, com forte influência dos centros de investigação e ensino superior. De facto, são estas instituições que demonstram a capacidade de promover a ligação do conhecimento às empresas. Nesta visualização pode-se verificar que, a maior parte do tecido empresarial está envolvido em poucos projetos de I&D, apresentando menos de 100 ligações. No caso, da França e Itália, é proeminente a presença de centros de investigação de grande dimensão, como facilitadores da I&D em nanotecnologia.

Os estados-membros com maior participação no 7ºPQ-NMP são também os que mais projetos coordenam. A coordenação de projetos de colaboração científica permite às instituições coordenadoras e em última instância, aos países, influenciar a orientação da investigação e os campos científicos. O quadro 7.5 apresenta o *ranking* de países, por projetos coordenados.

Quadro 7.5 - Quantidade e investimento em projetos coordenados por país

Qtd. Projetos			
País	Coordenados	Investimento total dos Projetos	Investimento médio por Projeto
Alemanha	137	867 399 073,36 €	6 331 380,10 €
Espanha	116	663 052 816,57 €	5 715 972,56 €
Reino Unido	96	507 772 017,80 €	5 289 291,85 €
Itália	93	520 682 104,44 €	5 598 732,31 €
França	57	355 133 329,85 €	6 230 409,30 €
Holanda	48	335 153 181,83 €	6 982 357,95 €
Bélgica	35	159 320 184,76 €	4 552 005,28 €
Suécia	31	201 790 396,40 €	6 509 367,63 €
Finlândia	29	222 402 826,19 €	7 669 062,97 €
Grécia	26	122 432 313,77 €	4 708 935,15 €
Áustria	21	103 176 492,54 €	4 913 166,31 €
Irlanda	21	105 912 484,37 €	5 043 451,64 €
Suíça	19	110 565 461,21 €	5 819 234,80 €
Dinamarca	18	117 517 918,84 €	6 528 773,27 €
Noruega	15	91 521 519,34 €	6 101 434,62 €
Israel	10	51 359 800,11 €	5 135 980,01 €
Polónia	8	42 330 950,10 €	5 291 368,76 €
Portugal	7	26 721 454,59 €	3 817 350,66 €
Hungria	5	12 373 520,44 €	2 474 704,09 €
Rep. Chéca	4	11 254 339,86 €	2 813 584,97 €
Eslovénia	2	9 381 962,60 €	4 690 981,30 €
Lituânia	2	3 090 222,48 €	1 545 111,24 €
Sérvia	2	6 327 987,46 €	3 163 993,73 €
Eslováquia	1	4 281 549,00 €	4 281 549,00 €
Liechtenstein	1	5 287 381,20 €	5 287 381,20 €
Luxemburgo	1	631 962,61 €	631 962,61 €
Turquia	1	8 629 400,40 €	8 629 400,40 €
<b>Total</b>	<b>806</b>	<b>4 665 502 652,12 €</b>	<b>135 756 943,69 €</b>

dados da pesquisa, Cordis (CORDIS, 2017; EU ODP, 2017)

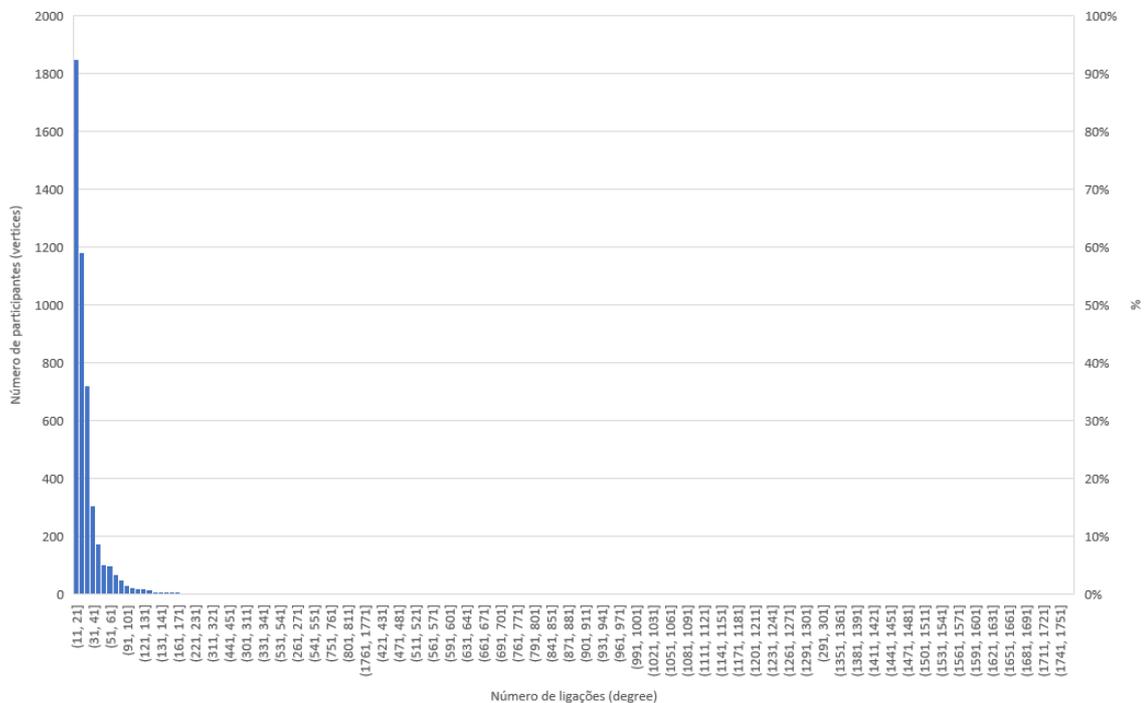
Novamente a Alemanha domina na coordenação de projetos e no total de financiamento obtido. Mas os dados refletem alguma competição entre Alemanha e a Espanha, seguido do Reino Unido e da Itália para a coordenação de projetos de inovação em nanotecnologia. Fazendo referência ao quadro 5.4, estes são também os estados-membros com maior participação nos projetos. Os quatro países representam cerca de 50% do total do investimento total dos projetos de inovação. Contudo, em termos de variação média do investimento por projeto, o valor não difere muito entre os estados-membros.

## Perspetiva Micro

Os elementos fundamentais de uma rede são o número de vértices e de ligações que essa rede possui. No caso das redes de inovação estudadas, os vértices são os participantes e projetos do 7ºPQ-NMP e as ligações a relação entre participante e projeto. O grau de um vértice ( $d_v$ ) de uma determinada rede,  $G=(V,E)$  é o número de ligações ( $E$ ) entre os vértices ( $V$ ). Estes três parâmetros são os elementos fundamentais para calcular o nível de centralização das redes, ou seja, a partir destes parâmetros surgem vários indicadores que permitem caracterizar e diferenciar os participantes de redes de inovação.

A primeira métrica de análise dos vértices de uma rede é a sua distribuição de grau. O gráfico 7.1, explana essa distribuição num histograma com uma configuração semelhante às redes sem escala (Barabási & Albert, 1999). Os dados revelam que um número significativo de participantes nos projetos de inovação possui, em média, poucas ligações e poucos muitas ligações. Este fenómeno permite avaliar a capacidade de disseminação do conhecimento; neste caso, esta rede tem na sua génese uma estrutura propícia para o fluxo de conhecimento e inovação.

Gráfico 7.1 - Histograma da distribuição do grau do vértice dos participantes (efeito “small-world”)



O histograma sugere ainda que existem determinados participantes com inúmeras ligações a outros participantes pelos projetos de inovação do 7ºPQ-NMP. A existência deste número elevado

de ligações determina a capacidade de alguns dos participantes atuarem como centralizadores ou intermediários na formação das redes de inovação.

A perspectiva micro sugerida nesta secção, pode ser também analisada segundo o contexto socioeconómico da separação dos projetos em tecnologias e Parcerias Publico Privadas. Na escala de prontidão tecnológica (TRL)<sup>62</sup>, todos estes projetos, encontram-se em níveis de implementação de tecnologia mais baixos (Enzing, C.M., Mahieu, B., Poel, M., Potau, X., Beckert, B., Gotsch, M., Som, O., Thielmann, A., & Reiß, 2015).

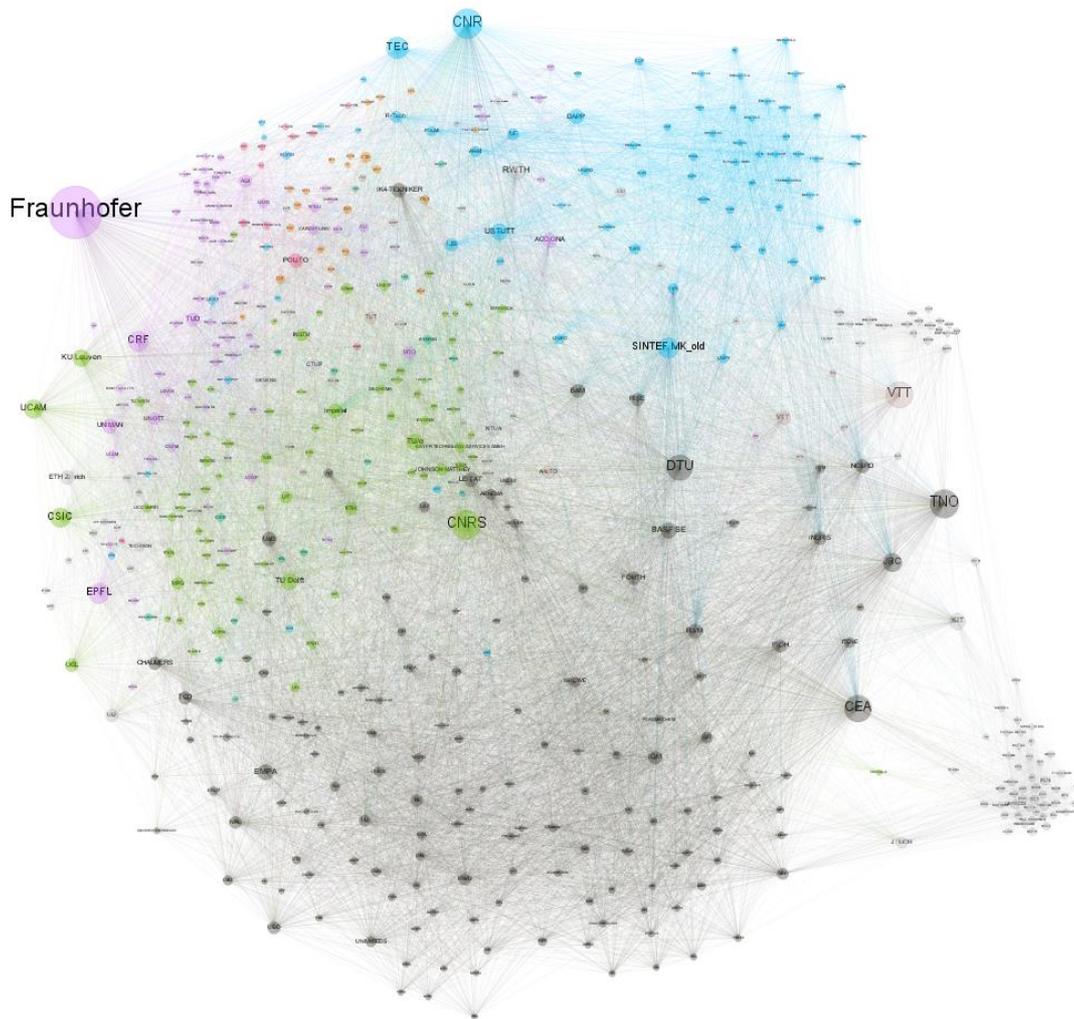
O tópico NMP alberga em si, projetos no âmbito da investigação científica fundamental, focando-se nas nanociências, na produção de novos materiais e inovadoras tecnologias de produção, caracterizado por um TRL mais baixo. A figura 7.2 apresenta a rede formada pelos participantes dos projetos NMP. Nesta visualização destacam-se quatro instituições de investigação científica: a FRAUNHOFER alemão, o CNR italiano, o CNRS francês e o TNO holandês. Estes participantes, tem a característica de serem os maiores centros de investigação dos respetivos países, com capacidade de proverem ciência fundamental para a investigação em nanotecnologia. A dimensão dos mesmos e o seu espectro científico, coloca-os numa posição de destaque na rede de inovação ao apresentarem o maior número de ligações (i.e. grau) aos restantes participantes.

Esta rede conta ainda com um espectro de cor que permite visualização a formação de comunidades, ou seja, sub-redes formadas por participantes com elevado nível de conectividade. Estas comunidades foram detetadas a partir de um método heurístico baseado na otimização modular (Blondel, Guillaume, Lambiotte, & Lefebvre, 2008), através do software Gephi (Bastian, Heymann, & Jacomy, 2009).

---

<sup>62</sup> Technology Readiness Levels

Figura 7.2 - Rede de inovação dos projetos NMP

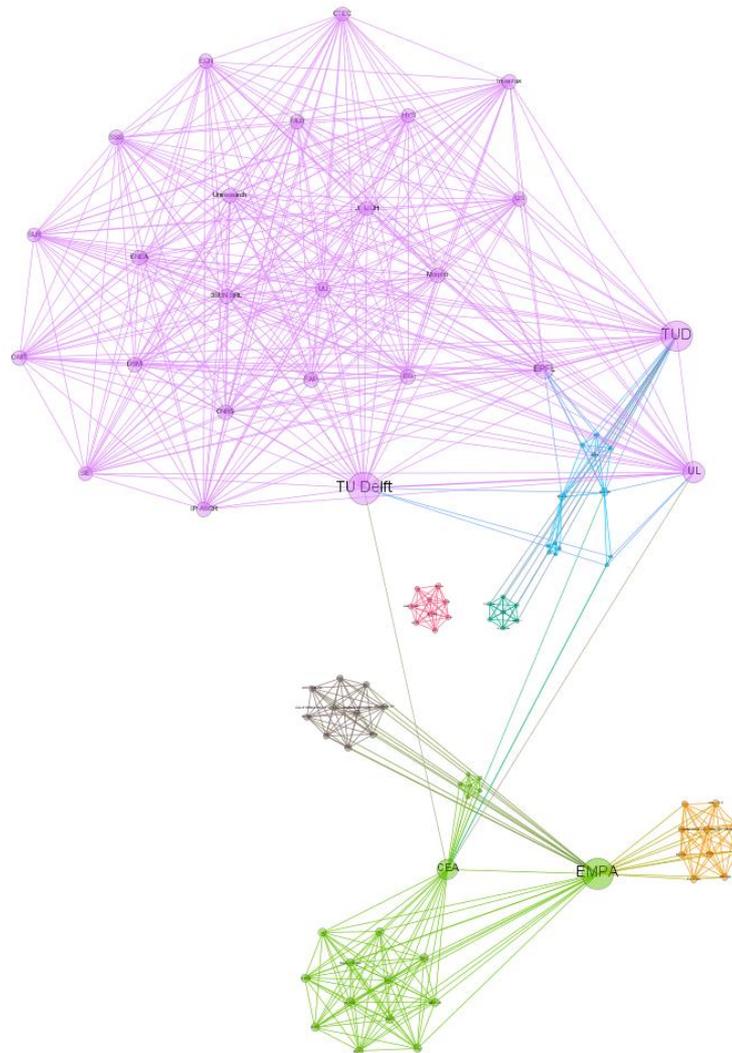


Fonte: dados da pesquisa, Cordis (CORDIS, 2017; EU ODP, 2017). Imagem gerada pelo software Gephi

As redes formadas pelos projetos associados aos tópicos tecnológicos de Energia e Ambiente podem ser observadas nas figuras 7.4 e 7.5. Estas visualizações, permitem identificar de forma clara as comunidades formadas a partir das ligações entre os participantes. No caso, da rede sob o tópico Energia, existem 7 comunidades detetadas pelo algoritmo (Blondel et al., 2008). Esta rede é caracterizada por participantes que apresentam um número de ligações reduzido. Destacam-se três instituições do ensino superior, a UNITO, UNICAMP e a UCAM, da Itália, Brasil e Reino Unido respetivamente. Mais uma vez, verifica-se que estes projetos apresentam um cariz de investigação fundamental.

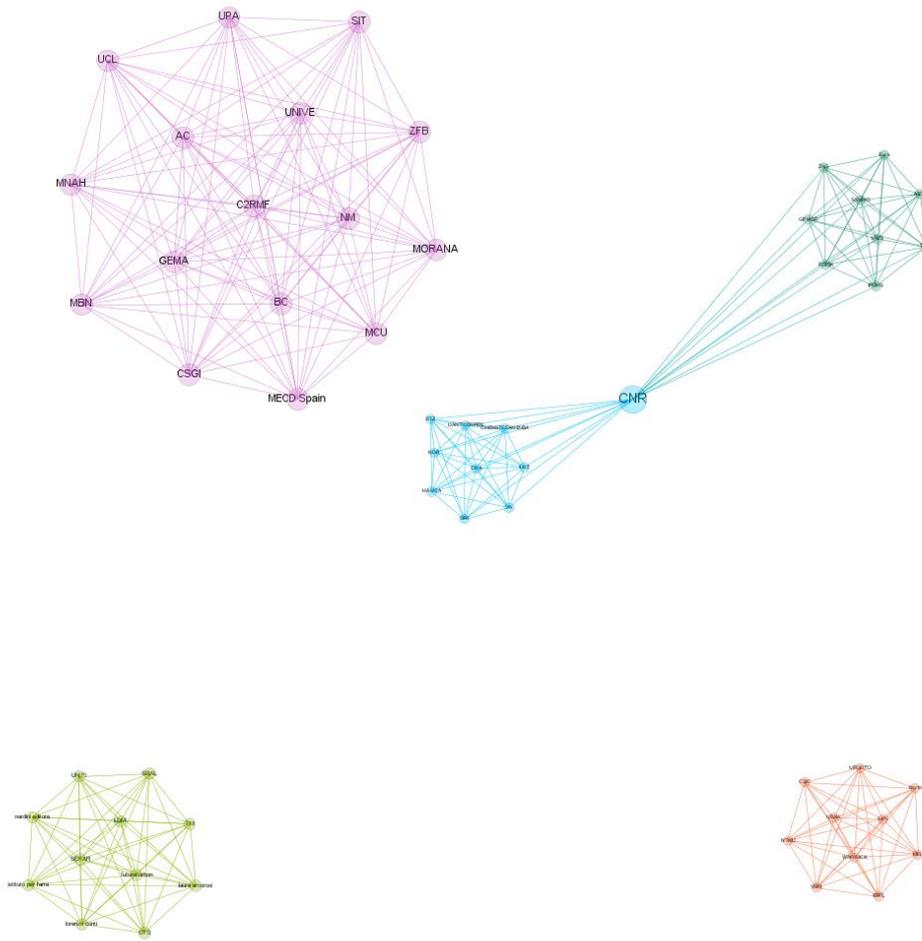
A rede formada sob o t3pico Ambiente, apresenta cinco comunidades detetadas pelo algoritmo de otimiza33o modular (Blondel et al., 2008), onde pode-se identificar a CNR como o participante com maior n3mero de liga33es, destacando-se o seu posicionamento entre duas comunidades.

Figura 7.3 - Rede de inova33o formada a partir dos projetos Energia (ENERGY)



Fonte: dados da pesquisa, Cordis (CORDIS, 2017; EU ODP, 2017). Imagem gerada pelo software Gephi

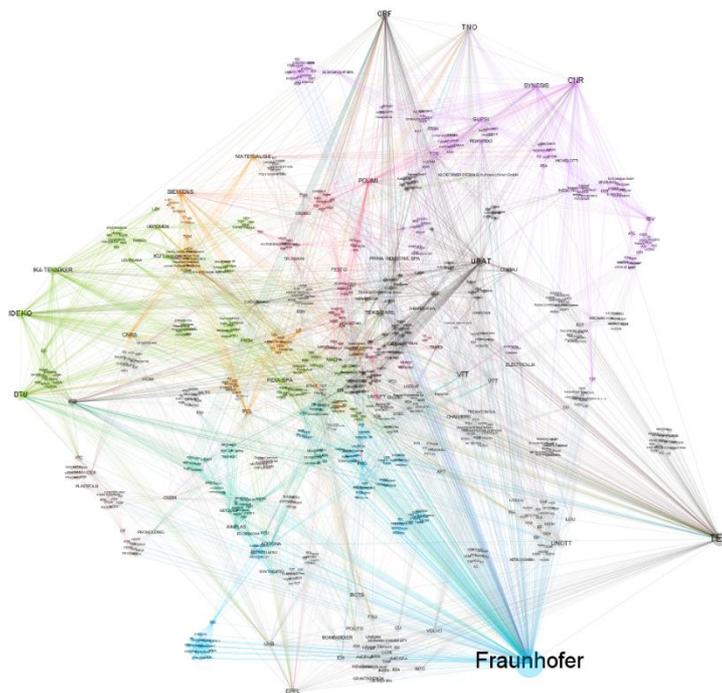
Figura 7.4 - Rede de inovação formada a partir dos projetos Ambiente (ENV)



Fonte: dados da pesquisa, Cordis (CORDIS, 2017; EU ODP, 2017). Imagem gerada pelo software Gephi

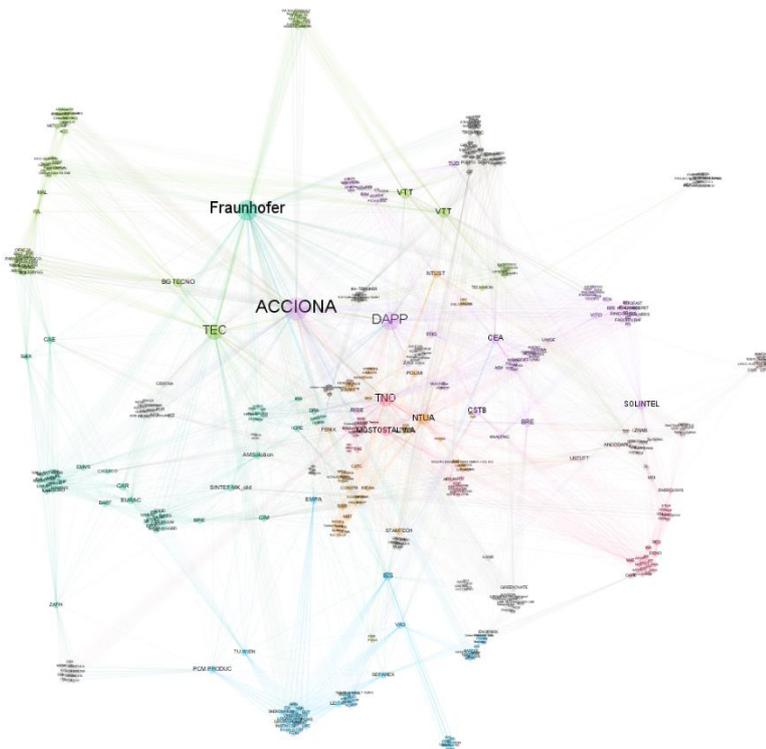
No âmbito das Parcerias Público-Privadas (PPP) no 7º PQ-NMP, os projetos com nível de TRL mais elevado, pode-se encontrar os referentes aos tópicos de “Factory of the Future”, “Energy efficient Building” e “Green Car”/ “Green Cars- Sustainable Surface Transport”. As figuras seguintes pretendem apresentar uma visualização sumária das redes formadas a partir destes projetos.

Figura 7.5 - Rede de inovação formada a partir dos projetos FoF (PPP)



Fonte: dados da pesquisa, Cordis (CORDIS, 2017; EU ODP, 2017). Imagem gerada pelo software Gephi

Figura 7.6 - Rede de inovação formada a partir dos projetos EeB (PPP)



Fonte: dados da pesquisa, Cordis (CORDIS, 2017; EU ODP, 2017). Imagem gerada pelo software Gephi

Figura 7.7 - Rede de inovação formada a partir dos projetos GC (PPP)

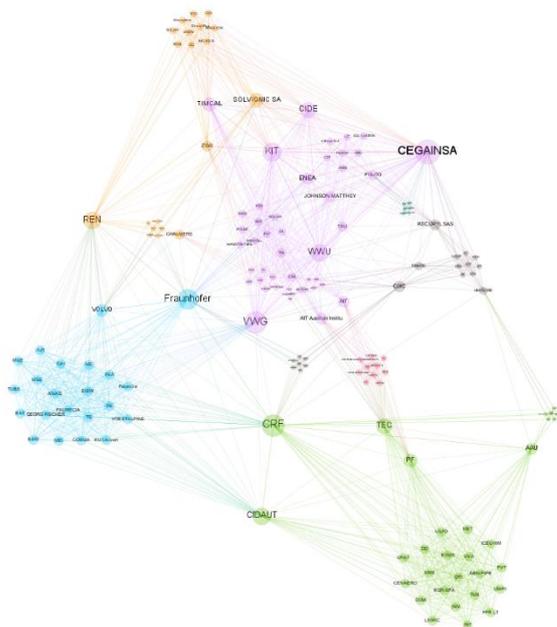
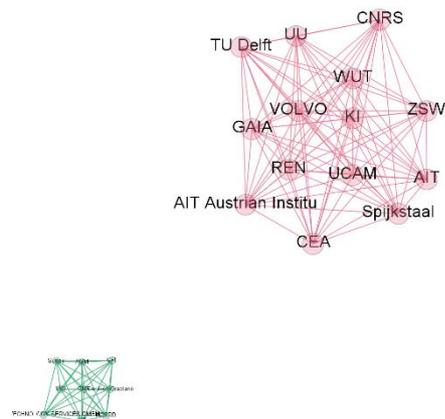


Figura 7.8 - Rede de inovação formada a partir dos projetos GC-SST (PPP)



Fonte: dados da pesquisa, Cordis (CORDIS, 2017; EU ODP, 2017). Imagem gerada pelo software Gephi

Nestas redes, os Centros de Investigação e Universidades mantêm-se no topo dos participantes com mais ligações, porém, as visualizações e dados das redes de inovações formadas a partir dos tópicos associados aos projetos no âmbito das Parcerias Público-Privadas, indicam um maior número de participantes oriundos do setor privado, empresas e indústrias. É exemplo o número elevado de ligações da alemã, SIEMENS, com cerca de 73 ligações nos projetos FoF, ou a Polimex Mostostal (MOSTAFAL WA), sediada na Polónia a atuar no setor industrial e construção civil, que mantém 92 ligações nos projetos EeB.

Em suma, as redes aqui apresentadas demonstram, que a participação de grandes centros de investigação aplicada, como a FRAUNHOFER, são catalisadores na formação de redes de inovação no seio do 7ºPQ-NMP. Já nos projetos de Parcerias Público-Privadas era de esperar maior contributo das empresas. Verifica-se que só grandes grupos empresariais e industriais conseguem participar em mais projetos e com maior número de participantes.

Para caracterizar os participantes das redes de inovação do 7ºPQ-NMP foram utilizados três indicadores de centralidade da análise de redes coerente com a sua estrutura de rede: O grau do vértice; o nível de proximidade; e o nível de intermediação. Estas métricas proporcionam identificar o papel de cada participante na rede.

A análise do grau de ligações permite descrever o participante quanto à sua importância junto dos seus vizinhos de ligação. Por outro lado, a proximidade e intermediação são métricas que definem a influência e o impacto da posição do participante na rede de inovação. Com o objetivo de compreender as estruturas orgânicas das redes de inovação são apresentadas comparações analíticas e visuais dos participantes nos diferentes tópicos do 7ºPQ-NMP. O quadro 7.6, pretende representar uma lista com os principais participantes e a sua importância e impacto nas redes de inovação.

Quadro 7.6 - Níveis de centralidade dos participantes por ranking

Ranking	Grau		Proximidade		Intermediação	
	Participante	País e tipo	Participante	País e tipo	Participante	País e tipo
1	FRAUNHOFER	(DE;REC)	FRAUNHOFER	(DE;REC)	FRAUNHOFER	(DE;REC)
2	TNO	(NL;REC)	CNR	(IT;GOV)	CNR	(IT;GOV)
3	CNR	(IT;GOV)	TNO	(NL;REC)	TNO	(NL;REC)
4	TEC	(ES;REC)	CEA	(FR;REC)	CEA	(FR;REC)
5	VTT	(FI;BUS)	CNRS	(IT;GOV)	CNRS	(IT;GOV)
6	CEA	(FR;REC)	VTT	(FI;BUS)	VTT	(FI;BUS)
7	CNRS	(FR;GOV)	TEC	(ES;REC)	TEC	(ES;REC)
8	DTU	(DK;HES)	DTU	(DK;HES)	DTU	(DK;HES)
9	ACCIONA	(ES;BUS)	CRF	(IT;REC)	KIT	(DE;HES)
10	CRF	(IT;REC)	ACCIONA	(ES;BUS)	ACCIONA	(ES;BUS)

Notas: REC – Centro de Investigação; GOV – Governo; BUS – Empresa; HES – Ensino Superior

Os dados das redes demonstram a função moderadora das instituições governamentais na formação das redes de inovação do 7ºPQ-NMP. Uma análise mais detalhada dos dados revela que a Itália e França utilizam os seus principais organismos de investigação científica governamentais para promover a colaboração em redes de inovação. Por exemplo, o francês “Centre National de la Recherche Scientifique” (CNRS) tem sobre sua alçada 10 institutos que abrangem um lato conhecimento científico.

No caso da Alemanha, o Instituto Fraunhofer é um centro de investigação privilegiado para a promoção e disseminação da inovação nacional. O instituto de cariz não governamental encontra-

se na interseção da investigação científica e industrial alemã e desempenha um papel fulcral na política pública do governo federal. Como identificado no quadro anterior, o FRAUNHOFER é o participante com maior número de ligações, como também se apresenta no topo dos níveis de centralidade e intermediação, revelando a sua importância na formação das redes de inovação no 7ºPQ-NMP.

### *Visualização das redes institucionais*

Da análise preliminar aos projetos do 7ºPQ-NMP, verifica-se que a Alemanha, Itália, Espanha, Reino Unido e França lideraram o *ranking* de participações com um número significativo de empresas na sua constituição. No entanto, a Alemanha destaca-se ao marcar a presença com o maior número de centros de investigação, comparado com os restantes Estados-membros. Por outro lado, a Espanha é o Estado-Membro com maior participação de instituições governamentais nos projetos de I&D. Estes dados revelam à partida diferentes estratégias de implementação do Programa-Quadro nos sistemas nacionais de inovação.

Um fator relevante para esta análise preliminar são as diferenças sistémicas e institucionais existentes entre os diversos sistemas nacionais de inovação. A abordagem institucionalista aos sistemas de inovação contempla três perspetivas ou dimensões de análise aos fatores competitivos dos Estados-membros.

Estes dados revelam que determinados Estados-membros, têm sistemas de inovação com capacidade de transformar o conhecimento científico em produtos e serviços para o mercado e sociedade no geral. Porventura estas diferenças não provêm só de fatores socioeconómicos e dependem de outros mais institucionais. Numa perspetiva político-económica a Europa apresenta regimes institucionais muito diferentes, por um lado, tem Estados-membros com economias de mercado mais liberais (LME), por outro, existem economias quer mistas (MME) como conservadoras (CME).

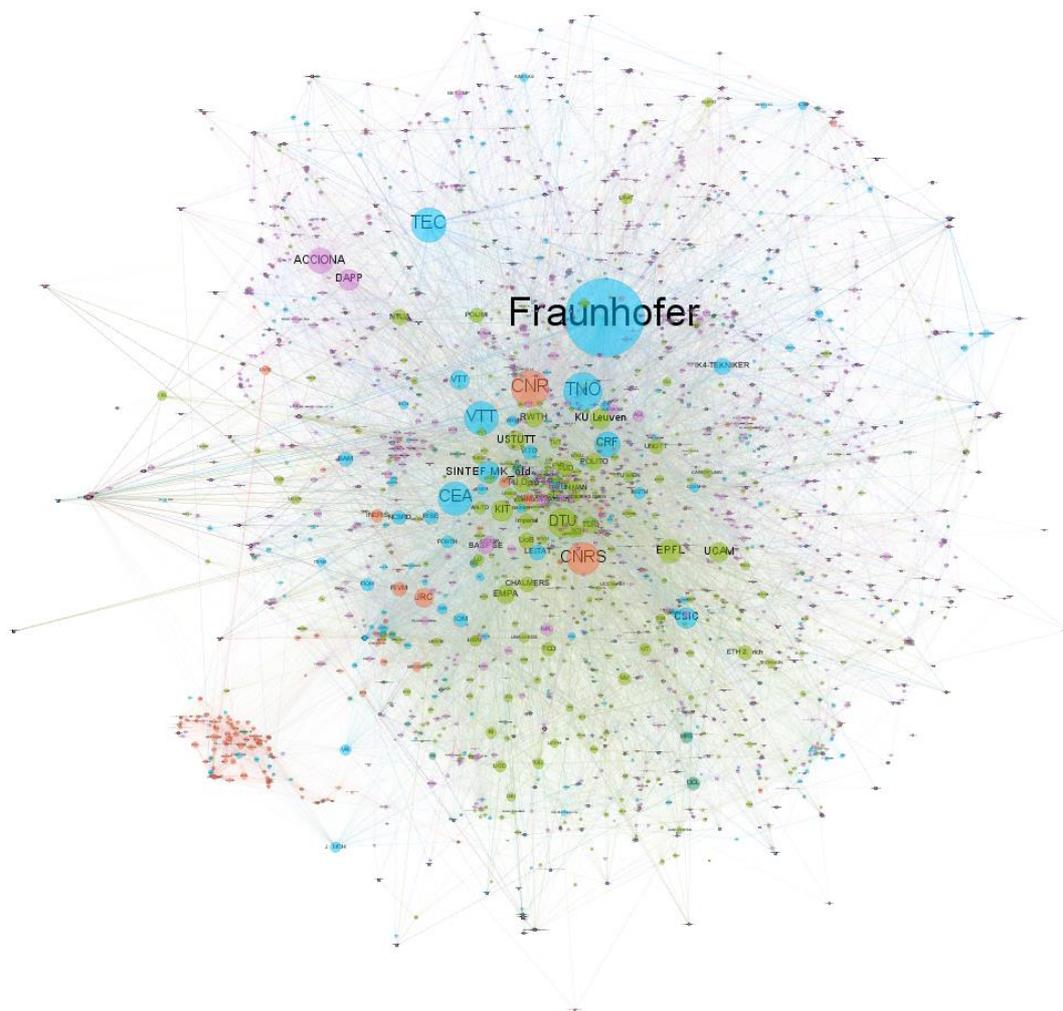
Mas estas diferenças não respondem ao fato de Estados-membros com regimes institucionais diferentes apresentam níveis de comprometimento com a nanotecnologia idênticos. Por exemplo, Alemanha (i.e., CME) e o Reino Unido (i.e., LME), apresentam planos estratégicos específicos para a nanotecnologia, em oposição à França (i.e., MME) que se compromete com

algumas políticas orientadas para a nanotecnologia, a maior parte refletidas em centros de investigação especializados.

Estas diferenças também estão refletidas nos sistemas sociotécnicos dos diversos Estados-membros. Na perspectiva técnico-sociológica, verifica-se que, por exemplo, a Alemanha, Reino Unido ou Bélgica, possuem, em maior número, infraestruturas nacionais para o desenvolvimento da nanotecnologia (ESFRI), comparadas com a França, Itália ou Holanda. Estas diferenças são acompanhadas quando se analisa o número de projetos do 7ºPQ para a infraestruturas.

O nível de heterogeneidade institucional dos sistemas de inovação é tão profundo, que as diferenças entre os Estados-membros estão também refletidas na forma como os participantes dos projetos de I&D colaboram entre si. Dados da análise descritiva da rede de colaboração científica e tecnológica, formada pelos projetos do 7ºPQ-NMP, revelam que determinados participantes auferem um grau de influência e impacto na produção e difusão do conhecimento e inovação em nanotecnologia. A figura 5.9 propõe uma visualização da rede de inovação em nanotecnologia onde se destacam os participantes com maior relevo na rede.

Figura 7.9 - Visualização da rede institucional dos sistemas de inovação em nanotecnologia (participantes)



Fonte: dados da pesquisa. Imagem gerada pelo software Gephi.

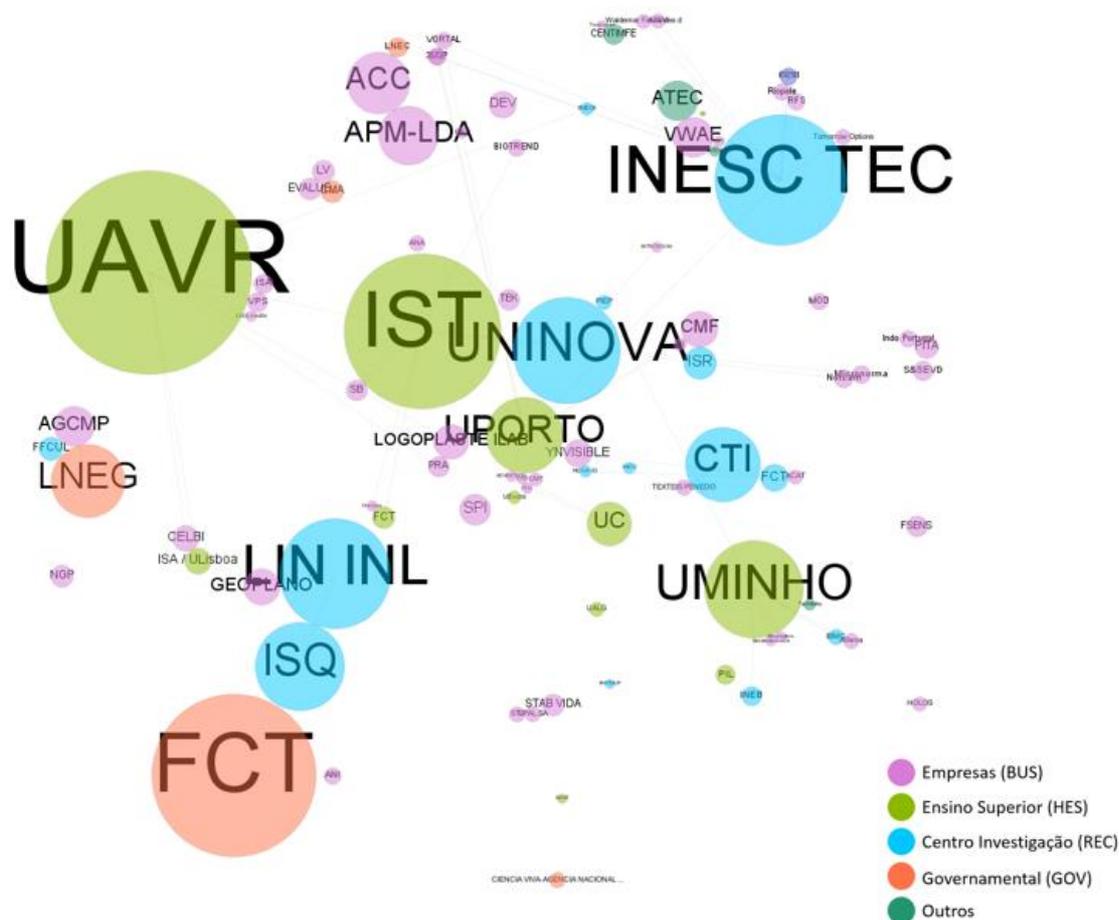
Nota: Círculos proporcionais ao número de ligações aos restantes participantes (grau)

Sem grande perplexidade verifica-se que o instituto alemão Fraunhofer é o participante com mais participações em projetos de I&D, colocando-o numa situação privilegiada no seio da rede de inovação. Apesar do Fraunhofer ser um centro de investigação, a sua história e missão sugere uma ação propulsora do Estado Alemão, mas não é único pois a intervenção dos governos é uma característica transversal nestes projetos.

No caso particular de Portugal a sua representação faz-se por um número reduzido de 95 participantes, dos quais mais de metade são empresas (61%), 17% centros de investigação e 13% estabelecimentos do Ensino Superior. A figura 7.10, apresenta a visualização da rede de participantes portugueses no 7ºPQ-NMP, através do seu grau de ligações entre si. Nesta rede de

configuração egocêntrica, é possível verificar que as universidades e os centros de investigação são o tipo de instituições com maior número de participações em projetos. É exemplo, a Universidade de Aveiro (UAVR) e o Instituto Superior Técnico (IST) e os centros de investigação INESC ou o Laboratório Internacional de Nanotecnologia (LIN INL). Este último é um resultado de uma política pública direcionada para a nanotecnologia e um dos maior laboratórios especializados na península ibérica.

Figura 7.10 - Rede de participantes portugueses nos projetos do 7º PQ-NMP



Fonte: dados da pesquisa. Imagem gerada pelo software Gephi.

Nota: Círculos proporcionais ao número de ligações aos restantes participantes (grau)

É importante também realçar a presença de duas instituições governamentais com relevância no panorama nacional. A Fundação para Ciência e Tecnologia (FCT) e o Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), o primeiro tem a sua relevância por ser a instituição principal para o financiamento da I&D e regulação do setor científico português, o segundo, posiciona-se na rede

por participar em projetos com um elevado número de participantes, como o MINIRALS4EU, associado a regulação dos nanomateriais na União Europeia.

Seria de esperar que os projetos do 7ºPQ-NMP, face aos seus objetivos de aumentar a competitividade de mercado fossem presenciados com um maior impacto das empresas nas redes de inovação. Contudo, a participação intensiva de instituições governamentais como o CNR (Itália) ou CNRS (França), colocam-nas no *ranking* das instituições com mais participações e influência nos projetos de I&D. Estes dados revelam que existe uma tendência para os Estados-membros, através das suas participações nos projetos do 7ºPQ-NMP, influenciarem o rumo da investigação e desenvolvimento da nanotecnologia na Europa.

A análise aos projetos de I&D permite obter um conhecimento dos atores socioeconómicos dos sistemas de inovação. Contudo, e apesar de não estar no âmbito desta investigação da análise aos projetos *per se*, pode-se retirar algumas conclusões dos seus dados descritivos (ver figura 7.11). Os cinco projetos com maior número de participantes, são caracterizados, por serem coordenados por instituições de diferentes Estados-membros e com objetivos científicos também diferentes.

Por exemplo, o projeto NANOREG, constituído por 71 participantes privados e públicos, com representação de quase todos os países europeus. O âmbito do projeto contempla o desenvolvimento de instrumentos de análise de risco e de tomada de decisão, no que respeita aos testes de nano materiais. A abrangência desta temática indica que o NANOREG, não tem um cariz de inovação tecnológica, mas sim de carácter regulatório. Assim pode-se encontrar participantes de várias tipologias, em particular, autoridades nacionais e representantes industriais.

Outro exemplo, de projetos de grande escala, são os INTEG-RISK e o MARINA, com 67 e 51 participantes e liderados pela Alemanha e Reino Unido, respetivamente. São projetos associados à gestão e mitigação dos riscos das nanotecnologias de âmbito transversal a todas as indústrias e setores socioeconómicos. Ainda no conjunto de grandes projetos, temos o ACCMET com 35 participantes, liderado pela Noruega no setor da metalúrgica e novos materiais, e o PROMINE com 33 participantes, coordenado pela Finlândia, também no desenvolvimento de novos materiais.

Estes exemplos refletem a diversidade de atores e projetos no âmbito do desenvolvimento científico e tecnológico da nanotecnologia. Pode-se concluir com esta seleção hierarquizada de projetos que existe um forte envolvimento dos Estados-membros na segurança e saúde dos cidadãos

e profissionais, quando se trata de criar novos materiais a partir desta tecnologia emergente - a nanotecnologia.

Figura 7.11 - Visualização da rede de inovação em nanotecnologia (projetos de I&D)



Fonte: dados da pesquisa. Imagem gerada pelo software Gephi.

Nota: Quadrados proporcionais ao número de ligações aos projetos de I&D.

As análises apresentadas conferem às redes de inovação europeias na área da nanotecnologia contextos heterogêneos visível através de países participantes e com sistemas de inovação diferentes e com diferentes tipologias de instituição. Evocando as estatísticas da análise de redes é possível encontrar alguns padrões de perfil dos participantes das redes de inovação formadas pelos projetos do 7ºPQ-NMP. Verifica-se também que, determinados sistemas de inovação nacionais dependem de instituições governamentais para potenciar a criação de redes de

inovação num enquadramento de políticas públicas dirigidas para fatores de competitividade industrial como o Programa-Quadro.

Estes resultados indiciam a importância das características dos sistemas de inovação na institucionalização das redes de inovação. Perspetiva-se então fatores sistémicos e institucionais na formação de redes de inovação em nanotecnologia. A seção seguinte pretende apresentar dos resultados da análise dos modelos de formação de redes propostos na metodologia descrita no capítulo anterior e responder às hipóteses lançadas por esta investigação.

## 7.2. Determinantes de formação de redes de inovação em nanotecnologia

A literatura revista nesta investigação aponta os sistemas institucionais de inovação como precursores na formação de redes de inovação. O modelo concetual proposto na investigação permite apreciar o impacto das dimensões institucionais e sistémicas na formação de redes nos projetos do 7ºPQ, na área das nanociências e nanotecnologia. Para este efeito, a metodologia recorreu a modelos estatísticos avançados na análise de redes sociais, nomeadamente os designados modelos de grafos exponenciais aleatórios ou ERGMs.

Os ERGMs representam processos de formação de ligações preferenciais, entre vértices das redes, através de parâmetros estatísticos especificados pelo investigador. Estes parâmetros devem contemplar a especificidade da estrutura e dimensão das redes estudadas e providenciar um número suficiente de “estatísticas de rede” que interpretem a distribuição probabilística das mesmas. Existem diversas classes estatísticas disponíveis em pacotes de programação, como o “ergm package” para linguagem R (Hunter, Handcock, Butts, Goodreau, & Morris, 2008; Morris et al., 2008).

No seguimento da metodologia proposta, foi aplicado o modelo ERGM aos dados relacionais ou matriciais da rede inovação em nanotecnologia. As estatísticas de rede foram organizadas em dois conjuntos de parâmetros ou coeficientes, que contemplam as hipóteses de investigação anteriormente levantadas: os efeitos estruturais (i.e. variáveis endógenas) e os efeitos dos atributos individuais (i.e. variáveis exógenas). Os efeitos referidos devem ser interpretados segundo os seus parâmetros e níveis de significância.

A modelação do modelo ERGM em programação R <sup>63</sup>, devolve três tipos de resultados: o modelo ajustado (*model fit*) baseado na especificação definida pelo investigador; o diagnóstico MCMC, que permite verificar a qualidade da amostra utilizada, quando aplicado o algoritmo *Markov Chain Monte Carlo*; e a qualidade do ajustamento do modelo (GOF).

A primeira fase do cálculo com modelos ERGM é a estimação do designado modelo nulo ou P1 (Holland & Leinhardt, 1981), por outras palavras, é um modelo com um só parâmetro a medir, as ligações simples entre dois vértices (p.e., participantes) ou o valor  $\beta$  (i.e., interceção) dos modelos de regressão comuns. Como referido anteriormente, este modelo simplificado, considera a *díade* como unidade de análise, ou seja, estima a “propensão dos participantes escolherem outros participantes” (Lazega & Higgins, 2014 p.81)

Os parâmetros de cada variável estudada estão refletidos nos estimadores e respetivos erros estatísticos, em conjunto com a sua significância estatística (*p-value*). Face à natureza estatística dos modelos ERGM, os estimadores apresentados nos quadros são *log-odds* condicionais<sup>64</sup>, ou seja, propensão para existência de ligações. Para calcular a probabilidade das ligações deve ser aplicado o inverso logaritmo, expresso na seguinte equação:

*Equação 7.1 - Probabilidade de existência de ligações*

$$P(i \rightarrow j) = \frac{\exp(\beta)}{1 + \exp(\beta)}$$

No qual  $P(i \rightarrow j)$  é a probabilidade de existência de ligações entre dois vértices  $i$  e  $j$ , e  $\beta$  é o estimador da variável no modelo ERGM.

Antes de continuar para a análise das dimensões institucionais dos sistemas de inovação, é relevante salientar alguns aspetos científicos e técnicos (Cranmer & Desmarais, 2011; Goodreau, Handcock, Hunter, Butts, & Morris, 2008; Hunter, Goodreau, & Handcock, 2013; Hunter, Handcock, et al., 2008):

- As dimensões em análise são resultado da modelação dos dados, das respetivas variáveis, por via da regressão estatística determinada pelos ERGM;

---

<sup>63</sup> O leitor poderá ver anexo G, com o *script* da programação em R do modelo.

<sup>64</sup> Razão de possibilidades de ocorrer evento num determinado grupo e a possibilidade de ocorrer em outro grupo. Considerando o modelo ERGM, o *log-odds* é a razão de ocorrerem ligações em determinada variável estudada.

- O *script* em linguagem R é uma adaptação dos pacotes informáticos disponíveis na base de dados CRAN e GitHub;
- Os parâmetros de configuração do pacote ERGM foram selecionados com base na metodologia apresentada e por tentativa e erro do investigador;
- Para assegurar a convergência dos modelos (não degeneração), todas as regressões tiveram em conta o método de aproximação estocástica (“stochastic approximation”) da estimação por MCMC (“Markov Chain Monte Carlo”).
- As estimativas negativas (positivas) significam que a probabilidade de observar uma rede com um valor alto de correspondência estatística a uma hipotética rede de base (i.e., ligações) é menor (alta) do que a probabilidade de observar a rede de base.
- Os quadros apresentados são adaptações dos *outputs* dos *scripts* da linguagem R (ver Anexo G).

Os resultados da modelação de ERGM, são apresentados resumidamente no quadro 7.7 e está dividido em cinco modelos parciais, que representam os determinantes das redes de inovação em nanotecnologia. Os modelos A e B, concentram as variáveis endógenas da rede, que não são afetadas pelos atributos dos participantes, enquanto as restantes, as variáveis exógenas, ou seja, aquelas que são afetadas aos atributos de cada participante da rede de inovação. O modelo A, representa o modelo de base, ou seja, a criação de díades (ligação entre dois participantes) sem qualquer interferência de outras variáveis de estrutura local ou atributos dos participantes, ou simplesmente, a densidade da rede.

Os modelos C, D, E e F, correspondem aos atributos associados às dimensões institucionais de inovação, propostas no modelo conceptual. O modelo C, contribui para a interpretação da tipologia de participantes (p.e. Centro I&D, Ensino Superior). O modelo D, constituído pelo contributo de cinco variáveis que representam a dimensão socioeconómica dos sistemas de inovação. O modelo E, acrescenta o contributo da dimensão político-económica e das suas três variáveis. Por fim o modelo F, completa a análise do modelo ao contemplar a dimensão tecno-sociológica, constituída por três variáveis.

Nos modelos ERGM, os coeficientes positivos sugerem uma maior prevalência para a formação de uma determinada configuração de rede do que era esperado, condicionada aos restantes efeitos do modelo. Enquanto os coeficientes negativos indicam que determinada configuração ocorre com menor frequência do que esperado (Dean Lusher & Robins, 2013)

Quadro 7.7 - Modelos ERGM da rede de inovação em nanotecnologia

Variáveis	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D	Modelo E	Modelo F
<b>Edges</b> Ligações entre 2 participantes (díades)	<b>-5,06</b> (0,004)	<b>-30,40</b> (0,003)	<b>-168,90</b> (0,01)	<b>-127,60</b> (0,086)	<b>-148,90</b> (0,104)	<b>-35,42</b> (0,224)
<b>2-star</b> formação de estruturas em estrelas		<b>0,003</b> (0,000)	<b>0,02</b> (0,000)	<b>0,02</b> (0,000)	<b>0,06</b> (0,000)	<b>0,06</b> (0,000)
<b>gwesp.fixed.2.5</b> formação de estruturas triangulares (triades)		<b>21,29</b> (0,000)	<b>126,30</b> (0,02)	<b>131,6</b> (0,003)	<b>132,50</b> (0,002)	<b>132,80</b> (0,002)
<b>Tipologia de Participante (t)</b> Nodematch.Type			<b>3,89</b> (0,02)	<b>-0,36</b> (0,16)	<b>-9,35</b> (0,012)	<b>0,22</b> (0,015)
<b>Produção Científica (SI)</b> nodecov.SOC_Si_Sci				<b>-6,09</b> (0,023)	<b>9,13</b> (0,033)	<b>-8,09</b> (0,037)
<b>Produção de Inovação (SI)</b> nodecov.SOC_Si_Inov				<b>-12,47</b> (0,016)	<b>0,15</b> (0,018)	<b>8,76</b> (0,023)
<b>Despesa Pública I&amp;D (%PIB)</b> nodecov.SOC_GBORD				<b>-4,60</b> (0,020)	<b>18,35</b> (0,022)	<b>-11,35</b> (0,022)
<b>Empresas setor Nano (#)</b> nodecov.SOC_BUS				<b>-0,23</b> (0,003)	<b>0,36</b> (0,002)	<b>0,32</b> (0,001)
<b>Nano Produtos (#)</b> nodecov.SOC_PROD				<b>0,03</b> (0,000)	<b>0,03</b> (0,000)	<b>0,04</b> (0,000)
<b>Políticas Públicas p/Nano (t)</b> nodematch.POL_SP					<b>3,30</b> (0,012)	<b>-1,35</b> (0,017)
<b>Regimes Político-econômicos (t)</b> nodematch.POL_VOC					<b>-8,03</b> (0,015)	<b>7,97</b> (0,013)
<b>Políticas Educação Nano (#)</b> nodecov.POL_DEGR					<b>-0,43</b> (0,002)	<b>-0,33</b> (0,002)
<b>Infraestruturas Nacionais I&amp;D (#)</b> nodecov.TEC_FP7INFR						<b>0,06</b> (0,000)
<b>Infraestruturas Nacionais Nano (#)</b> nodecov.TEC_ESFRInano						<b>1,88</b> (0,005)
<b>Cobertura nacional de Internet (%)</b> nodecov.TEC_NET						<b>-0,91</b> (0,001)
	AIC 876124 BIC 876138	AIC 838696 BIC838739	AIC 658700 BIC 658756	AIC 702124 BIC702250	AIC 773040 BIC773208	AIC 829497 BIC 829707

Notas: Os modelos foram ajustados pelo MCMC-MPL, pelo método “stochastic approximation”. Todos os valores estimados são significativos ( $p$ -value <0,001). Critério de Informação de Akaike (AIC); Critério de Informação Bayesiano (BIC). Variáveis contínuas: (SI)-Índice de especialização; (#) – quantidade em número; (%) – percentagem. Variáveis categóricas: (t)- tipologias. Ver Anexo G.

Segundo o enquadramento teórico proposto nesta investigação, três das cinco dimensões apresentadas no quadro 7.7, são consideradas como fatores para a formação de redes de inovação

(modelos D, E e F). Mas não deixa de ser pertinente analisar os aspetos endógenos da rede e as características *sui generis* dos seus participantes.

### *Dimensão estrutural da rede de inovação*

Os efeitos endógenos são estimados por estatísticas realizadas sobre as configurações locais da rede de inovação observada. Foram especificados três parâmetros de redes, sugeridos por Wang *et al* (2013) e Snijder (2009), que permitem avaliar a rede de inovação na sua genesis estrutural. A estrutura da rede permite-nos afirmar que as formações endógenas da rede são preditores da formação das redes de inovação, pois os seus *p-values* são significativos, muito abaixo do convencional 0,05.

Os modelos A e B, descritos no quadro 7.7 compreende as variáveis endógenas da rede de inovação em análise. O primeiro modelo, representa a tendência de criação de díades (i.e. edges), ou seja, a probabilidade de cada participante na rede se ligar a outro através de um projeto. O facto deste coeficiente apresentar um valor negativo (-5.06), significa que existe propensão para os participantes formarem ligações com outros com maior número de ligações. Por outras palavras, pode-se afirmar que a probabilidade de se formarem ligações não é aleatória, existem outros fatores que influenciam estas ligações.

O segundo modelo, como sugerido por Snijder (2009), inclui fatores locais de formação de rede, nomeadamente as formações em estrela (*2-star*) e o “*Geometrically Weighted Edgewise Shared Partners*” (gwesp) que nos permite, averiguar as formações em triangulo ou de transitividade, limitando também a degeneração dos modelos.

O parâmetro alternativo *k-star* apresenta valores positivos, isto significa maior probabilidade de existência de vértices com elevado número de grau, ou seja, “*hubs*”. Valores negativos significam uma menor probabilidade de surgirem vértices com elevado número de grau, ou seja, menor variabilidade na distribuição de graus (Robins, Snijders, Wang, Handcock, & Pattison, 2007). Verifica-se, que este tipo de formações tem uma tendência a serem formadas ao longo dos vários modelos, em particular, se incluir as dimensões político-económicas e tecno-sociológicas (modelo E e F).

O coeficiente *gwesp*, mede a tendência para formação de estruturas triangulares (i.e. tríades) entre os participantes da rede de inovação. Por outras palavras, a probabilidade de dois participantes criarem uma ligação aumenta quando estes partilham em comum outros participantes (Hunter, 2007; Hunter & Handcock, 2006). Um valor positivo significa que existe uma tendência para se forma este tipo de formações. Este coeficiente apresenta valores positivos e homogéneos, quando são incluídas as dimensões institucionais da inovação. Este fato pode revelar, que estes fatores institucionais são importantes ou condicionam a ligação entre participantes que tem parceiros de rede em comum.

No que respeita aos efeitos locais estruturais da rede de inovação do 7ºPQ-NMP, existe uma propensão, para alguns participantes constituírem-se como *hubs*, ou intermediários de fluxos científicos e tecnológicos, entre os restantes participantes da rede. É também factual, uma propensão para os participantes criarem ligações entre si, através da existência de outros participantes em comum. Este fenómeno, pode indicar algum efeito de transitividade e *clusterização*, por outras palavras, ter parceiros em comum, em determinados projetos, promove a ligação entre participantes em outros projetos.

Outros efeitos não estruturais, como os atributos dos indivíduos que pertencem a uma rede, podem afetar a probabilidade de emergirem ligações entre os mesmos (Robins & Daraganova, 2013). Estes fenómenos são designados como os efeitos covariáveis dos atores que incluem os efeitos de homofilia (e.g. dimensão tipológica dos participantes) e efeitos gerais dos atributos (dimensões institucionais dos participantes).

### *Dimensão tipológica do modelo (homofilia)*

A homofilia é o reflexo do nível de reciprocidade dos vértices numa estrutura em rede, ou seja, define a preferência dos vértices em formarem ligações (Dean Lusher, Robins, et al., 2012). Um dos atributos intrínsecos dos participantes é a natureza da sua organização e missão estratégica. Nesta rede de inovação em nanotecnologia, os participantes foram definidos e divididos em cinco tipologias organizacionais: Empresa (BUS); Governo (GOV); Ensino Superior (HES); Centro de Investigação e Desenvolvimento (REC); e Outros (OTH). Esta tipologia, definida na metodologia, tem como justificação o Manual de Frascati (2015a, p.91).

Os resultados do modelo C, confirmam que a categoria ou tipologia de instituição tem um impacto positivo na formação de redes, nomeadamente na formação de configurações em estrela e triangulares. À medida que são avaliados os outros atributos dos participantes, verifica-se que o coeficiente de tipologia altera o seu valor e sentido. Nos modelos D e E este coeficiente indica que a influencia do tipo de organização não contribui muito para a formação de ligações entre os participantes dos projetos de inovação.

O modelo parcial apresentado no quadro 7.7, introduz a variável de tipologia como fator determinante para a formação de redes de inovação<sup>65</sup>. No entanto, para verificar homofilia institucional é proposto um modelo secundário (ver quadro 7.8), resultado da formação de ligações recíprocas entre participantes do mesmo tipo (Hazir, 2013), por exemplo, os participantes do tipo empresa tendem a colaborar com outras empresas no mesmo projeto.

Quadro 7.8 - Modelo ERGM da tipologia de participantes (homofilia)

Variáveis	Modelo C1
<b>Edges</b> Ligações entre 2 participantes (díades)	<b>-5,05*</b> (0,006)
<b>Ensino Superior</b> nodematch.Type.HES	<b>-0,12**</b> (0,04)
<b>Governamental</b> nodematch.Type.PUB	<b>0,15</b> (0,11)
<b>Centro de Investigação</b> nodematch.Type.REC	<b>-0,20*</b> (0,04)
<b>Empresa</b> nodematch.Type.PRC	<b>-0,03*</b> (0,04)
<b>Outros</b> nodematch.Type.OTH	<b>0,57*</b> (0,07)
	AIC 677568 BIC 677652

Notas: Os modelos foram ajustados pelo MCMC-MPL, pelo método “stochastic approximation”.  
\*Significância (p-value <0,001), \*\* Significância (p-value <0,01).

O quadro anterior, revela que todos os coeficientes, exceto o “Governamental” são estatisticamente significantes. Este último apresenta o valor positivo, o que significa que as instituições governamentais tendem a formar ligações entre si. Este fato, apesar de não ser significativo, evidencia a presença publica dos atores estatais, em particular, nos projetos de cariz regulatório e legal. Neste tipo de projetos é normal participarem todos os estados-membros, o que

<sup>65</sup> Por outras palavras, as categorias deste atributo aumentam a possibilidade (*odds*) de se criar ligações entre os participantes (i.e. vértices)

justifica o valor positivo do coeficiente, bem como o seu log-odd (0,15) um dos maiores valores deste modelo.

De uma forma geral, a propensão para participantes do mesmo tipo de instituição, se ligarem entre si, não é um fator preponderante na formação de redes. Esta evidencia estatística, revela também o cariz do 7ºPQ-NMP que promove a diversificação do tipo de instituições nos projetos de I&D.

### *Dimensão Institucional Socioeconómica do modelo*

O modelo parcial D, descrito no quadro 7.7, compreende a modelação dos dados referentes aos atributos socioeconómicos dos participantes da rede de inovação. Este modelo pretende corroborar a existência de fatores pertencentes ao leque de indicadores socioeconómicos, determinantes para a formação preferencial de ligações entre os participantes. Esta dimensão é um reflexo da importância dos sistemas de inovação nacionais no desenvolvimento de redes preferenciais nos projetos europeus de inovação, nomeadamente os do 7ºPQ-NMP.

Os resultados do modelo D revelam que os diferentes atributos dos participantes têm diferentes impactos na formação de ligações na rede de inovação. Da análise aos coeficientes descritos no modelo D, conclui-se que existe uma menor propensão para serem criadas ligações entre os participantes por via da influência dos fatores socioeconómicos. Contudo, e apesar de apresentar um valor muito baixo, poderá existir a possibilidade de ligação entre dois participantes, pertencentes a países com o mesmo nível de comercialização de nanoproductos.

Ao comparar a dimensão socioeconómica nos restantes modelos parciais, pode-se concluir que esta apresenta coeficientes mistos. Se for contemplado a dimensão Político-económica (modelo E) a dimensão socioeconómica tem um impacto maior na formação da rede. Com o contributo da dimensão Tecno-sociológica (modelo F), os coeficientes das variáveis Produção Científica e Despesa Publica em I&D, contribuem negativamente.

### *Dimensão Institucional Político-económica do modelo*

A dimensão institucional Político-económica, representada pelo modelo E, não é determinante para a formação de redes de inovação. Os dados do modelo parcial descritos no

quadro 7.8 revelam que as variáveis que compõem, apresentam coeficientes negativos, exceto, a referente às estratégias políticas para a nanotecnologia. Por outras palavras, pode-se afirmar que existe reduzida propensão para eventuais ligações entre participantes por estes, pertencerem a regimes político-económicos idênticos ou que tenham o mesmo nível de políticas para a educação em nanociências e nanotecnologia.

Contudo, ao introduzir na análise a dimensão tecno-sociológica, os regimes político-económicos apresentam um impacto positivo na formação da rede de inovação. Este fato revela que existe uma propensão para os participantes estarem presentes no mesmo projeto de I&D, se estes pertencerem a países com o mesmo regime económico sugerido pelas Variedade de Capitalismo (Hall & Soskice, 2001).

### *Dimensão Institucional Tecno-sociológica do modelo*

O modelo F, em análise pretende compreender o contributo das grandes estruturas científicas, na estratégia colaborativa dos participantes das redes de inovação. Da leitura do quadro 7.8, verifica-se que a variável desta dimensão tem impactos diferentes. As infraestruturas ao nível geral e especializado em nanotecnologia contribuem de forma positiva, enquanto a grande infraestrutura tecnológica que é a internet, aqui representada pela cobertura nacional de internet, contribui de forma negativa.

Em suma, pode-se afirmar que existe uma maior propensão para existirem ligações entre os participantes que pertencem a sistemas de inovação caracterizados pelo mesmo nível de implementação de infraestruturas tecnológicas de impacto nacional, em particular, quando estas são dedicadas à I&D em nanotecnologia.

### *Modelo institucional dos sistemas de inovação em nanotecnologia*

Os resultados do modelo institucional dos sistemas de inovação proposto no capítulo 6 estão refletidos nos dados das regressões parciais modeladas pelo ERGM, descritos no quadro 7.7. Nestes modelos, e para fins de convergência estatística, foram selecionadas para avaliação, as variáveis das respetivas dimensões institucionais propostas anteriormente (Werle, 2005; Werle, In Bauer, & Bauer, 2012). A sua interpretação cinge-se aos aspetos exógenos da rede, ou seja, os atributos dos participantes como fatores determinantes para a colaboração na rede de inovação.

A análise e interpretação dos modelos parciais, comprovam que as estruturas locais endógenas e as características exógenas, tem impactos na formação das redes de inovação em nanotecnologia (i.e. estatísticas significativas). Por um lado, as estruturas intrínsecas à rede contribuem de forma positiva para a formação de ligações, por outro, os atributos institucionais de cada participante influenciam de forma mista a formação de ligações.

Os diversos modelos apresentados anteriormente contribuem para a compreensão da formação de determinadas ligações entre os participantes dos projetos de I&D do 7ºPQ-NMP, ou seja, analisa os fatores sistémicos e institucionais que moldam a formação das redes de inovação em nanotecnologia e nanociências na Europa. Os critérios de qualidade dos modelos (AIC e BIC) sugerem que a introdução das várias variáveis das respetivas dimensões exógenas podem melhorar o modelo face as dimensões endógenas<sup>66</sup>. Os dados da investigação agora modelados segundo o método estatístico ERGM permitem responder ao modelo concetual optado e respetivas hipóteses (Quadro 7.9).

Quadro 7.9 - Lista de hipóteses de investigação

Hipótese 1	Os atores com o mesmo perfil institucional (e.g., Universidade, Centro de Investigação, Empresa), constituintes dos sistemas nacionais de inovação tendem formar ligações preferenciais entre si.
Hipótese 2	Os fatores socioeconómicos que caracterizam os sistemas nacionais de inovação determinam positivamente a formação de redes de inovação em projetos de I&D em nanotecnologia.
Hipótese 2.a	Ambientes institucionais com elevado nível de produção científica e de inovação em nanotecnologia e nanociências, influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.
Hipótese 2.b	Ambientes institucionais com um número elevado de constituição de empresas especializadas em nanotecnologia e a comercialização de nano produtos, influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.
Hipótese 2.c	Ambientes institucionais com elevado nível de investimento público em nanotecnologia e nanociências, influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.
Hipótese 3	Os fatores político-económicos que caracterizam atores dos sistemas nacionais de inovação determinam positivamente a formação de redes de inovação em projetos de I&D em nanotecnologia.
Hipótese 3.a	Ambientes institucionais com elevado nível de implementação de planos estratégicos para a nanotecnologia e nanociências influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.
Hipótese 3.b	Ambientes institucionais com formações avançadas em nanotecnologia e nanociências influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.
Hipótese 3.c	Ambientes institucionais de regimes capitalistas (i.e economias liberais, conservadoras ou mistas), influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.
Hipótese 4	Os fatores tecno-sociológicos que caracterizam atores dos sistemas nacionais de inovação determinam positivamente a formação de redes de inovação em projetos de I&D em nanotecnologia.

<sup>66</sup> O AIC e BIC dos modelos A e B respetivamente apresentam valores superiores aos restantes modelos, nomeadamente o Modelos F.

Hipótese 4.a	Ambientes institucionais que incorporem infraestruturas globais de I&D (i.e. projetos no âmbito 7PQ para as infraestruturas), influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.
Hipótese 4.b	Ambientes institucionais que incorporem infraestruturas de I&D em nanotecnologia e nanociências (i.e. projetos no âmbito ESFRI), influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.
Hipótese 4.c	Ambientes institucionais com elevados índices de cobertura de internet influenciam positivamente a criação de ligações preferenciais entre as instituições dos sistemas tecnológicos.

A hipótese 1 pretende averiguar a existência de alguma tendência para os participantes dos projetos de I&D formarem ligações estratégicas entre si, ou seja, escolherem determinados projetos para colaborarem com outros participantes da mesma categoria institucional (p.e. empresas, ensino superior). Tendo em conta a formação de ligações entre participantes, descritas no quadro 7.7, em particular o modelo parcial F, esta hipótese é corroborada pela sua significância e o seu valor positivo, ou seja, os participantes da mesma tipologia institucional, tendem a formar ligações entre si. O quadro 7.8, complementa esta afirmação ao verificar que as instituições governamentais e outras tendem estar presentes nos mesmos projetos de I&D.

Estes resultados analíticos sugere que as redes formadas no âmbito do 7ºPQ-NMP são heterogéneas e as empresas procuram diversificar os seus projetos através parceiros de setores industriais diferentes, como centros de investigação ou do ensino superior. Estes resultados vão ao encontro do objetivo dos Programas-Quadro de aproximar o tecido empresarial à comunidade científica.

A hipótese 2 descreve as variáveis socioeconómicas que caracterizam os sistemas de inovação de cada participante nos projetos de I&D. Todas as hipóteses secundárias apresentam variáveis estatisticamente significativas. A hipótese H2.a, em particular o atributo “Produção de Inovação” (i.e. Índice de Especialização), é aquele que devolve um coeficiente de magnitude positiva, ou seja, ambientes institucionais dos sistemas de inovação com maior nível de especialização em patentes de nanotecnologia, tendem a influenciar a formação das redes de inovação. No caso da “Produção científica” (i.e. Índice de especialização), o coeficiente é negativo, o que indica uma menor propensão de ligação entre os participantes, pertencentes a ambientes institucionais dos sistemas de inovação com maior nível de especialização na produção de artigos científicos sobre nanotecnologia. Face a estes resultados, esta hipótese é corroborada parcialmente.

Em outro sentido, a hipótese H2b é corroborada na íntegra, ao verificar que os coeficientes do número de empresas especializadas e nano-produtos comercializados, são positivos. Isto significa, que os ambientes institucionais dos sistemas de inovação com maior intensidade de empresas dedicadas à nanotecnologia e um mercado de produtos significativo, influenciam a escolha das instituições em participar em projetos de I&D em comum. Esta hipótese é corroborada na totalidade.

A hipótese H2c não é corroborada, pois o coeficiente respetivo do atributo “Investimento Público em I&D” (i.e GBORD), apresenta um valor negativo. Significa que pertencer a ambientes institucionais dos sistemas de inovação com maior nível de investimento público não é fator primordial para escolherem participar nos mesmos projetos.

A hipótese 3 procura avaliar o impacto das variáveis político-económicas que descrevem os sistemas de inovação de cada participante nas redes formadas pelos projetos de I&D do 7ºPQ-NMP. Esta dimensão tem um impacto misto mas significativo no modelo global institucional dos sistemas de inovação. As hipóteses H3.a e H3.b, com coeficientes negativos, confere aos atributos, Políticas Públicas especializadas para a nanotecnologia, nível de planos estratégicos e formação superior, respetivamente, um menor impacto na formação das redes de inovação. Estas hipóteses não são corroboradas. A hipótese H3.c apresenta um coeficiente positivo indicando que os regimes político-económicos são um fator preponderante na formação de redes de inovação, ou seja, participantes pertencentes aos mesmo tipo de regime económico, por exemplo, Economias de Mercado Liberais tendem participar nos mesmos projetos de I&D. A hipótese H3 é então corroborada parcialmente.

Por fim, a hipótese 4 tem o objetivo de analisar o efeito dos grandes sistemas sociotécnicos na formação de redes de inovação dos projetos de I&D. A dimensão tecno-sociológica neste modelo institucional dos sistemas de inovação apresenta também, coeficientes mistos e as suas dimensões são significativas. A hipótese secundária H4.a e H4.b sugerem que os sistemas de inovação com elevado número de infraestruturas dedicadas à I&D em geral e à nanotecnologia, em particular, contribuem para a formação de ligações entre os participantes das redes de inovação. Por outras palavras, os participantes tendem a escolher como parceiros nos projetos de I&D do 7ºPQ-NMP outros que pertencem também a ambientes institucionais dos sistemas de inovação com maior nível de implementação de infraestruturas de I&D. No outro sentido, a H4.c revela que Estados-membros com maior cobertura de internet uma infraestrutura tecnológica ao nível nacional não influenciam a escolha dos parceiros no projeto de I&D. Esta hipótese H4 é corroborada parcialmente.

Estes resultados sugerem que o ambiente institucional caracterizado pela dimensão tecno-sociológica através da infraestrutura de I&D em nanotecnologia instalada promove a participação de diversas instituições nos projetos do 7ºPQ-NMP. Impulsionados pela infraestrutura especializada os participantes nos projetos de I&D procuram outros participantes com as mesmas características tecno-sociológicas.

Em suma, este capítulo pretendeu analisar e discutir os dados da investigação com o propósito de corroborar as hipóteses levantadas pela questão inicial da investigação. Durante a descrição dos dados desenvolveu-se três perspectivas de análise: uma visão macro, na qual as estatísticas descritivas mostraram a posição dos diferentes estados-membros nas redes do 7ºPQ-NMP; uma visão meso, que revela sobretudo as assimetrias dos estados-membros ao nível da tipologia de participantes; e uma visão micro, na qual as estatísticas descritivas das redes sociais delimitam *rankings* de importância dos participantes nas redes de inovação. Por fim, foram apresentados os resultados dos modelos parciais ERGM que permitiram responder às hipóteses de investigação.

A análise de dados discutida neste capítulo permite afirmar que existem fatores institucionais que influenciam a formação de redes de inovação em I&D no 7ºPQ-NMP. As empresas, universidades, centros de investigação e instituições públicas governamentais procuram de forma estratégica ou preferencial parceiros para integrar projetos de I&D. É também revelador a importância que determinados participantes têm na estrutura destas redes de inovação. O instituto alemão FRAUNHOFER, é de longe a organização com maior importância nestas redes, quer pela sua característica de centralidade e de intermediação, quer por pertencer a um Estado-membro com forte implementação de políticas para a nanotecnologia.

Os resultados dos modelos exponenciais de grafos aleatórios (ERGM) contribuíram para corroborar as hipóteses lançadas e simultaneamente testar empiricamente a perspectiva teórica institucionalista, como proposta por Werle (2005; 2012). De fato existem três dimensões institucionais que caracterizam os sistemas de inovação: a socioeconómica, identificada por variáveis quantitativas associadas à abordagem sistémica (e.g. Carlsson, 1997; Freeman, 1991; Lundvall, 2010); a Político-económica, representada por variáveis sobretudo de âmbito qualitativo, como as Variedades de Capitalismo (Peter A Hall, 2018); e a Tecno-sociológica, caracterizada por variáveis quantitativas que pretendem caracterizar os grandes sistemas tecno-sociais sugeridos por Hughes (Hughes, 1993; Hughes, 1987; Mayntz & Hughes, 1988).

## CAPÍTULO 8 - CONCLUSÕES

Esta investigação é uma procura das razões que propiciam a colaboração e a constituição de redes em ciência, tecnologia e inovação. As políticas europeias para a ciência, tecnologia e inovação, através dos Programas-Quadro, têm mobilizado um conjunto de interações, relações e colaborações entre os vários Estados-Membros e as suas instituições e organizações que merecem mais estudo e aprofundamento. Este estudo optou por estudar a constituição destas redes europeias numa área científica emergente - a nanotecnologia – que é simultaneamente uma ciência e uma tecnologia; uma tecnologia emergente com uma história recente e relevante a nível europeu.

A análise preliminar às redes de inovação originou várias questões: uma das principais questões pretendia compreender quais os fatores sistémicos e institucionais latentes que moldam a formação de redes de inovação em nanotecnologia e nanociências na Europa. O modelo teórico interpelou-nos à formulação de um modelo conceptual do institucionalismo nos sistemas de inovação. A metodologia utilizada privilegiou a análise quantitativa, fundamentada por métodos avançados de análise de redes sociais, e os Modelos de Grafos Aleatórios Exponenciais ou ERGM.

### **O continuum institucional da ciência europeia**

Ao longo das últimas décadas os estudos da inovação tem sido objeto de estudo de investigação de muitas áreas das ciências sociais (sociologia, economia, geografia, ciência política, políticas públicas). De todos, o olhar para os sistemas de inovação tem tido uma atenção particular pelos teóricos das políticas públicas, em particular os evolucionistas que se deparam com o fenómeno de produção de inovação através da colaboração institucional, entre um conjunto diversificado de atores socioeconómicos e políticos. Estas colaborações institucionais fazem parte de um grande sistema institucional da inovação.

Como refere Scott (2008), as instituições estruturam e dão significado aos comportamentos dos atores dos sistemas de inovação, imputem ordem as atividades e interações do coletivo. As instituições alcançam tal feito porque tendem a serem estáveis e resilientes à transformação socioeconómica e à inovação. No entanto, existem fatores endógenos e exógenos ao ambiente institucional que provocam mudanças no comportamento das instituições. Numa perspetiva institucionalista pode-se encarar estas mudanças como fruto de acontecimentos históricos, sociais e

racionais da interação entre os atores socioeconómicos e políticos (P A Hall & Taylor, 1996). Estas transformações institucionais tornam-se relevantes quando no contexto da construção europeia, em particular no desenvolvimento do Espaço Europeu de Inovação (EEI), a tecnologia emergente e disruptiva tem um impacto social e económico num mercado de 500 milhões de pessoas.

O surgimento da nanotecnologia como tecnologia emergente no início do século XXI, e refletida nas políticas europeias a partir de 2005, são um sinal que a tecnologia é um fator de mudança institucional nos sistemas de inovação e reforça o ímpeto de transformação no seio dos atores socioeconómicos (Bozeman et al., 2007). Como referem os autores, a natureza institucional destes atores influenciam o desenvolvimento das tecnologias emergentes.

A par da nanotecnologia, a biotecnologia, as tecnologias de informação e a ciência cognitiva são consideradas tecnologias emergentes, caracterizadas pelo seu rápido crescimento e elevado impacto social e económico (Bainbridge et al., 2003). A “emergência” associada ao desenvolvimento destas tecnologias acarreta desafios à institucionalização das políticas científicas europeias.

Através do institucionalismo histórico foi possível desenvolver uma análise crítica aos sistemas de inovação e identificar momentos decisivos na sua capacidade inovadora (North, 1990; Pierson & Skocpol, 2002). Esta análise enquadra a construção do Espaço Europeu de Inovação (EEI) à luz dos Programas-Quadro para a ciência e tecnologia em três períodos:

O institucionalismo histórico confere uma análise crítica aos sistemas da inovação, através da identificação de momentos decisivos no desenvolvimento da capacidade inovativa que perfazem trajetórias específicas de alguma forma dependentes do passado e comprometidas com o futuro (Douglass C North, 1990; Pierson & Skocpol, 2002). Nesta perspetiva, a construção do Espaço Europeu de Inovação (EEI), pode ser interpretada, à luz dos Programas-Quadro para a ciência e tecnologia enquadrados em três períodos de desenvolvimento:

O primeiro, “praeludium”, marcou o início de um caminho tecnológico, assente na ciência fundamental e na construção das infraestruturas necessárias; o segundo período, o “pré-competitivo”, determinou a forma como a Europa poderia crescer, recorrendo a programas plurianuais, que permitiria transferir o conhecimento para sustentar e apoiar a economia de

mercado; o terceiro período, o “competitivo”, foi marcado pela Agenda de Lisboa, um momento histórico que influenciou os objetivos estratégicos dos restantes Programas-Quadro.

A perspetiva sociológica no contexto do institucionalismo permite analisar os sistemas de inovação e interpretar os procedimentos e práticas institucionais difundidas nos próprios sistemas (P A Hall & Taylor, 1996). Segundo DiMaggio e Powell (1983), os atores socioeconómicos e políticos tendem a adotar configurações organizacionais e interinstitucionais idênticas, ou seja, preferências institucionais, quando estas permitem maior eficiência no processo de mudança institucional.

No âmbito das políticas científicas europeias os sistemas nacionais de inovação foram interpelados por um conjunto de estratégias associadas aos Programas-Quadro, que permitiram desenvolver ciência e inovação em toda a geografia Europeia. Os estados-membros ao adotarem estas políticas comuns, alavancaram os seus próprios sistemas de inovação regionais e tecnológicos.

No caso da nanotecnologia, desde da publicação do documento estratégico “Towards a European strategy for nanotechnology” (European Commission, 2004) e posteriormente o “Action Plan 2005-2009” (European Parliament, 2006), que os estados-membros têm desenvolvido os seus sistemas tecnológicos de inovação e promovido várias políticas europeias e nacionais de apoio à nanociência e à nanotecnologia. Este facto revela a nanotecnologia como tecnologia emergente para fazer frente aos desafios sociotécnicos dos sistemas nacionais de inovação (Boon & Moors, 2008; A. L. Porter et al., 2002; Rotolo et al., 2015; Stahl, 2011). Entre os programas de apoio mais relevantes encontra-se as Nanociências, Nanotecnologias, Materiais e Novas Tecnologias de Produção no 7º Programa-Quadro (7ºPQ-NMP).

O 7ºPQ-NMP é um instrumento da política científica europeia para o desenvolvimento da nanotecnologia e essencial na colaboração científica entre os estados-membros através dos projetos de Investigação e Desenvolvimento (I&D). É um facto que cada projeto de I&D neste PQ a participação de diferentes estados-membros e diferentes instituições, como ensino superior, centros de investigação ou empresas. Os projetos formam as redes de colaboração científica e tecnológica heterogéneas, que por sua vez são influenciadas pelos diversos ambientes institucionais e sistémicos de cada participante.

Segundo o institucionalismo da escolha racional os atores socioeconómicos tendem a escolher as estratégias que mais se adaptam aos seus objetivos institucionais (Douglass C North,

1990). Os sistemas de inovação são palco de interações, o reflexo da organização e da influência que as diversas instituições exercem entre si (Ostrom, 2007; Sabatier, 1988). A escolha racional subjacente à organização destes arranjos institucionais (Hollingsworth, 2000), recai sobre a preferência de cada ator do sistema de inovação, envolver-se com os restantes no desenho institucional, segundo padrões e procedimentos normativos.

Estes arranjos institucionais revelam um determinado nível de coordenação e cooperação entre os atores socioeconómicos e políticos dos sistemas de inovação. Segundo Hall e Soskice (2001), estes níveis de coordenação, ou Variedades de Capitalismo, podem ser de três tipos: as Economias e Mercado Liberal (EML), as Economias de Mercado Coordenado (EMC) e as Economias de Mercado Mistas (EMM). O primeiro, refere-se a economias ou sistemas nacionais de inovação onde os arranjos institucionais são suportados por algum tipo de cooperação baseada nas regras competitivas de mercado, caracterizada por promover inovações radicais e transferência de tecnologia contratual, são exemplo o Reino Unido ou EUA. O segundo, consiste em economias e respetivos sistemas nacionais de inovação, baseados na cooperação interinstitucional e governamental que proporcionam inovações incrementais, são exemplo a Alemanha ou Áustria. O terceiro, originalmente sugerido por Óscar Molina e Martin Rhodes (2007), e caracterizado por economias e sistemas de inovação do tipo “coordenação autónoma” entre os atores socioeconómicos e por processos de “colonização de mercado”, são exemplos a Espanha ou a Itália.

A abordagem institucionalista aos sistemas de inovação foi complementada por um quadro teórico que caracterize as dinâmicas interinstitucionais nos diferentes sistemas de inovação (i.e. nacionais, regionais ou tecnológicos). As propostas de Hollingsworth (J Hage & Hollingsworth, 2000; 2000) e Werle (2005; 2012), contribuem para compreender a abordagem institucionalista aos sistemas de inovação ao evocarem as configurações institucionais como fator diferenciador entre países e dos seus sistemas de inovação.

Para Hollingsworth (2000), os sistemas de inovação são sistemas sociais de produção caracterizados por um conjunto de normas, regras e valores nacionais que formam o ambiente institucional e moldam a configuração dos arranjos institucionais. Estes sistemas de inovação podem ser avaliados por um conjunto de indicadores de performance da economia que classificam as sociedades pelos seus níveis de capacidade de inovação. Para o autor, os ambientes institucionais influenciam os trajetos tecnológicos dos sistemas de inovação ao pressionar as estruturas organizacionais e a forma como estas interagem entre si. Por outras palavras, as políticas públicas

nacionais e supranacionais influenciam a cultura e a estrutura das organizações dos sistemas de inovação.

Em suma, nos sistemas nacionais de inovação com maior pressão institucional, existe uma menor variação da estrutura organizacional, tendem a limitar a inovação radical, enquanto nos sistemas nacionais com menor pressão institucional, existe mais flexibilidade nas estruturas e culturas organizacionais de investigação, proporcionando o desenvolvimento de novos conhecimentos e inovações radicais. Sendo assim, pode-se afirmar que existem fatores sistémicos e institucionais que influenciam a dinâmica de interação entre atores socioeconómicos e políticos.

Para compreender estes fatores Raymund Werle (2005), propõe uma abordagem concetual que concilie as teorias das organizações dos sistemas de inovação, das Variedades de Capitalismo e dos sistemas sócio tecnológicos, numa matriz caracterizada por três tipos de institucionalismo: o socioeconómico; o político-económico; e o tecno-sociológico.

O institucionalismo socioeconómico, coloca os atores socioeconómicos e políticos como os construtores dos sistemas de inovação, através de processos e fluxos de conhecimento científico e tecnológico. Os sistemas de inovação podem ser analisados quer ao nível nacional, regional ou setorial (Edquist, 1997; Freeman, 1991; Lundvall, 2010; Malerba, & Fagerberg, 2006). No institucionalismo político-económico, os sistemas de inovação são caracterizados pela variabilidade das culturas e estruturas organizacionais e os regimes económicos dos ambientes institucionais (i.e. Variedade de Capitalismo) (Hall & Soskice, 2001; Hollingsworth, 2000, 2002). No institucionalismo tecno-sociológico, são evocados os Grandes Sistemas Tecnológicos (Thomas P Hughes, 1987) para caracterizar os sistemas de inovação, isto é, as infraestruturas científicas e tecnológicas tem um papel preponderante no desenvolvimentos dos sistemas de inovação e dependem dos arranjos institucionais e estratégias do atores socioeconómicos e políticos.

A proposta de Werle (2005) surge neste contexto como um instrumento de análise institucional aos sistemas de inovação, no qual é possível conjugar as várias perspetivas sistémicas e institucionais num só modelo concetual. A visão institucionalista dos sistemas da inovação, aqui evocada, pretende contribuir para construir a ponte entre as perspetivas sistémicas, abordadas regularmente nos estudos económicos, e a perspetiva institucionalista ou do novo institucionalismo, bem documentada nos estudos das políticas públicas.

Pressupondo que a formação de redes de inovação no setor da nanotecnologia é impulsionada pelas políticas públicas nacionais e supranacionais, nomeadamente os projetos associados ao 7ºPQ-NMP, poderão existir fatores que impulsionam às configurações socioeconómicas dos sistemas de inovação, invocados anteriormente por alguns autores. As instituições públicas e privadas como universidades, centros de investigação ou empresas tendem a formar configurações sistémicas ao nível nacional, regional, local ou mesmo, por tecnologia. Características únicas dos Sistemas Nacionais de Inovação podem conduzir uma “escolha racional”, na tomada de decisão do parceiro com quem participar em projetos de I&D.

### **Fatores determinantes na formação das redes institucionais de inovação**

Os fatos aqui sumarizados podem revelar a existência de alguns fatores subjacentes às escolhas estratégicas dos atores em integrar projetos de I&D. Condicente com a visão institucionalista da escolha racional (Ostrom, 2007; Sabatier, Boulder, Schumpeter, Clemence, & Business, 1951) é legítimo questionar: “*quais os fatores sistémicos e institucionais latentes, que moldam a formação de redes de inovação em nanotecnologia e nanociências na Europa?*”. Para responder a esta questão pertinente optou-se por identificar e selecionar variáveis explicativas das dimensões sistémicas e institucionais revistas na literatura e articuladas no modelo conceptual institucionalista dos sistemas de inovação. Assim sendo, para identificar estes fatores foi utilizado a Análise de Redes Sociais e métodos mais avançados na Análise de Redes Sociais (ARS) como o ERGM.

As perspetivas sistémicas e institucionais descritas anteriormente foram o ponto de partida para caracterizar os participantes dos projetos de I&D do 7ºPQ-NMP. De seguida, complementou-se esse perfil dos participantes com uma seleção de variáveis que representam de forma endógena as dimensões institucionais dos sistemas de inovação e compõem o modelo conceptual baseado na teoria de Werle (2005).

Os dados para esta análise foram recolhidos a partir dos projetos de I&D do 7º PQ-NMP, pois representam e revelam a implementação da política científica e tecnológica europeia para a nanotecnologia. Este programa de financiamento gerou cerca de 806 projetos, agrupados em 7

tópicos de atividade inovadora<sup>70</sup> e 4779 participantes únicos pertencentes a 71 países diferentes, entre os quais e com grande presença os 28 estados-membros da União Europeia<sup>71</sup>.

A primeira análise dos dados permite concluir que o 7ºPQ-NMP teve primordialmente o objetivo de incluir a participação do maior número de estados-membros. Em segundo, este programa pretendeu aproximar os centros de conhecimento à indústria, refletido no número de empresas (68%) e de centros de investigação (10%) e universidades (12%), a participarem nos projetos. Estes dados, refletem não só a importância da nanotecnologia para o tecido empresarial e industrial como o impacto desta tecnologia emergente no mercado e na sociedade.

Este impacto revela-se também nos diferentes subtópicos científicos deste programa. Os projetos com ímpeto científico mais generalista representam cerca de 80% do total de projetos, enquanto os projetos direcionados para aplicação de problemas socioeconómicos específicos, como a fabricação (FoF) ou o setor automóvel (GC) representam 20% do total. Estes últimos, são constituídos em maior número por empresas e indústrias, pois são projetos financiados ao abrigo dos regimes público-privados<sup>72</sup>. Era de esperar mais projetos nestes tópicos, contudo face ao estado de desenvolvimento desta tecnologia emergente, com níveis de implementação de tecnologia (TRL) ainda baixos, os casos de aplicação industrial são diminutos.

Ao nível dos participantes, os dados recolhidos demonstram que estados membros como a Alemanha é o estado-membro com maior presença nos projetos do 7ºPQ-NMP, cerca de 17% do total, seguido da Itália (9,6%), Espanha (9,3%) e Reino Unido (9,1%). Portugal, em particular, só representa a par de outros uns 2% do total de participantes neste programa.

Para responder à questão inicial de investigação foram desenvolvidas as metodologias de Análise de Redes Sociais (ARS). Para caracterizar cada participante das redes sociais formadas a partir dos projetos de I&D do 7ºPQ-NMP foram recolhidos dados complementares em diversas bases de dados. Estes dados contemplam as dimensões institucionais, propostas pela abordagem institucionalistas aos sistemas de inovação evocadas por Werle (2005).

---

<sup>70</sup> Nanotecnologia, novos Materiais e novas tecnologias de Produção (NMP); Ambiente (ENV); Energia (ENERGY); e as parcerias público-privadas, Energia eficientes na construção (EeB); Fábricas do Futuro (FoF); Carros ecológicos (GC) e mobilidade sustentável (GC-SST).

<sup>71</sup> Para efeitos desta investigação só foram considerados os participantes dos respetivos estados-membros da União Europeia na construção do modelo estatístico.

<sup>72</sup> Fabricas do futuro (FoF); Carros verdes (GC); Carros verdes e mobilidade (GC-SST); Eficiência energética em edifícios (EeB)

Neste sentido, foram identificados um conjunto de indicadores quantitativos e qualitativos, que representam de forma genérica as dimensões socioeconómicas, político-económicas e tecnossociológicas. Dimensões estas, que sugerem ter alguma influência na formação das redes de inovação. Por outras palavras, as variáveis que contribuem para que um participante escolha outro participante através de um determinado projeto de I&D.

A análise descritiva a estas variáveis revelam que a Alemanha, França, Reino Unido, Espanha e Itália, são o conjunto de estados-membros que mais produzem conhecimento e inovação em nanotecnologia. Estes resultados são acompanhados pela implementação de políticas públicas, em particular, estratégias políticas específicas para a nanotecnologia. O caso paradigmático da Alemanha é refletida através dos consecutivos Planos de Ação para as nanociências e nanotecnologia.

No que constata à nanotecnologia, também a Alemanha o Reino Unido e Dinamarca são os estados-membros que mais empresas especializadas e nanoproductos comercializados tem no seio da União Europeia. Estes cinco estados-membros estão no topo do ranking dos países com maior investimento publico em ciência e nos primeiros lugares do ranking de inovação europeu. Este facto evidencia a importância das políticas científicas, na investigação de tecnologias emergentes e podem ser determinantes na escolha de parceiros para integrar os projetos de I&D.

Numa análise particular às variáveis ou características político-económicas dos participantes, verificou-se que os que pertencem a regimes económicos dos mais liberais (EML) aos coordenados (EMC), apresentam níveis idênticos de estratégia e políticas publicas para a nanotecnologia. Por exemplo, a Alemanha (EMC), França (EMM) e o Reino Unido (EML) estão no topo do ranking na política de educação e especializada em nanotecnologia. Este facto sugere que a aposta na nanotecnologia e nas tecnologias emergentes poderá não ser um fator discriminatório face ao regime económico vigente na escolha de parceiros para os projetos de I&D.

Na perspetiva tecno-sociológica, na análise dos dados das variáveis correspondentes, verifica-se mais uma vez que os estados-membros referidos anteriormente, Alemanha, França, Reino Unido, Espanha, Itália e a Holanda, são os que mais apostam nas infraestruturas nacionais para o desenvolvimento da ciência e tecnologia. Em particular a Alemanha, Espanha e Reino Unido, apresentam um número significativo de infraestruturas nacionais para a o desenvolvimento

da nanotecnologia. Esta diferença relativa aos restantes estados-membros, poderá influenciar a escolha de parceiros para integrar os projetos de I&D.

Os resultados da análise descritiva da amostra revelam que existe alguma discrepância entre os diversos estados-membros relativamente a determinados aspetos institucionais dos sistemas de inovação em que os atores socioeconómicos e políticos operam. A análise de redes sociais revelaram também que determinados atores tem um papel preponderante na formação das redes de inovação a partir dos projetos de I&D do 7ºPQ-NMP.

Estas redes são caracterizadas por um número reduzido de participantes possuírem um número elevado de ligações a outros mais, enquanto a maior parte dos participantes nos projetos de I&D possuem poucas ligações aos restantes. Este fenómeno, Barabási e Albert (1999) designou de redes sem escala, nas quais a escolha dos vértices para estabelecer uma ligação não é aleatória. No caso das redes de inovação aqui analisadas existe ligações preferenciais entre os participantes dos projetos de I&D.

Por exemplo, o instituto alemão FRAUNHOFER é o participante com maior número de ligações, seguido pela Organização Holandesa para a investigação aplicada (TNO), ambos centros de investigação com impacto nacional. Mas neste ranking de ligações encontramos também participantes governamentais, como o Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) italiano ou o Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) francês. Por outro lado, no topo de ligações encontram-se poucas empresas, é exemplo a VTT Technical Research Centre of Finland ou o grupo espanhol ACCIONA Energy, a operar nas energias renováveis.

Ao aprofundar a análise de redes somos ainda confrontados com o impacto que estas organizações têm na rede deste Programa-Quadro. Relativamente à proximidade e intermediação na rede, a posição da FRAUNHOFER na rede é indiscutível, ou seja, a centralidade deste ator socioeconómico sugere que tem um papel preponderante nos fluxos de conhecimento e recursos dentro da rede de inovação. O CNR e o CNRS dos governos italiano e francês, respetivamente, entram também no topo do ranking dos participantes com maior centralidade, a par do centro de investigação holandês TNO.

O fato do 7ºPQ-NMP ser um programa dirigido para todos os atores socioeconómicos dos sistemas de inovação nacionais, este programa é particularmente orientado para aproximar as

empresas dos centros de conhecimento. O que se verifica na análise de redes é a forte presença de centros de investigação, instituições do ensino superior e agências governamentais. Este fenómeno resulta de alguns projetos deste sub-programa, abordarem temáticas de regulação e impacto social, que requerem a participação de autoridades reguladoras e mediadoras de todos os sistemas de inovação dos respetivos estados-membros, aumentando assim o número de ligações entre os participantes. Este fato revela a emergência associada ao desenvolvimento da nanotecnologia na Europa.

A análise da centralidade dos atores socioeconómicos da rede de inovação do 7ºPQ-NMP não é suficiente para compreender os fatores institucionais e sistémicos que influenciam a formação destas redes. Como verificado anteriormente, parece existir fatores que determinam as ligações preferenciais entre os atores e determinados projetos de I&D. Para identificar este comportamento latente, foi utilizado o método estatístico dos modelos ERGM (i.e., modelos da família dos grafos exponenciais) em redes de inovação.

Os modelos ERGM consistem num processo de estimar uma série de parâmetros que explicam a formação de redes entre vértices (p.e., participantes), através da simulação de grafos aleatórios, por métodos avançados de máxima verosimilhança (p.e., *Markov Chain Monte Carlo*). De uma forma mais simples, os ERGM são regressões estatísticas que avaliam o impacto de cada variável independente (variáveis das respetivas dimensões institucionais), na variável dependente, ou seja, na possibilidade (i.e., *log-odds*) de existir a formação de uma ligação entre dois participantes num projeto.

Os resultados da modulação da rede de inovação podem ser interpretados segundo duas perspetivas analíticas: a perspetiva da estrutura interna da rede, ou seja, as ligações simples (díades) ou outras configurações (p.e. em estrela, triângulo); e a perspetiva dos atributos dos vértices, por outras palavras as variáveis das dimensões institucionais).

No primeiro caso, os parâmetros estruturais indicam que a rede de inovação do 7ºPQ-NMP é pouco densa e a probabilidade de se formar uma ligação entre dois participantes é de 0,63% (-5,06 *log odds*), um valor muito reduzido, mas que pode ser explicado pelo fato de a maior parte dos participantes só ter uma ou duas ligações e uma finita parte destes, muitas ligações. Estas redes são designadas por redes de *escala livre* e normalmente assemelham-se as redes formadas por preferências individuais.

Mas ligações simples não são as únicas configurações existentes na avaliação da estrutura das redes. Se forem incluídos parâmetros, como de configurações em estrela ou de triângulos, a tendência para formarem configurações deste tipo aumenta na rede de inovação. No caso de configurações de 2-estrela, ou seja, a possibilidade de um participante se ligar a outros dois é positiva (0,003 *log odds*) e a formação de estruturas triangulares, ou seja, dois participantes partilharem um terceiro é também positiva (21,29 *log odds*). Estes resultados estatísticos da análise dos parâmetros do ERGM, são coerentes com a premissa dos projetos, do 7ºPQ-NMP, terem no mínimo a participação de três estados-membros.

A análise estrutural da rede deve ser contida nos parâmetros utilizados e os seus resultados interpretados segundo os estimadores e sua significância estatística e densidade. Se forem utilizadas outras configurações estruturais os resultados dos estimadores poderão ser diferentes e o nível de ajustamento dos dados ao modelo alterar. Neste sentido, foram avaliados outros modelos ERGM com a introdução de covariáveis que representam os atributos dos participantes.

A introdução de covariáveis nos modelos ERGM permite que os mesmos sejam enriquecidos com mais parâmetros, e desta forma aproximá-los à configuração da rede de inovação. Neste sentido foram avaliados dois conjuntos de parâmetros. O primeiro pretendeu verificar se existe alguma preferência de ligações entre participantes da mesma categoria socioeconómica (i.e., homofilia nas tipologias: universidade; empresa; governo; centro de I&D). E o segundo conjunto de parâmetros, das respetivas dimensões institucionais: socioeconómica; político-económica; e tecno-sociológica.

Os dados da análise tipológica são perentórios estatisticamente. Existe uma tendência para os participantes escolherem projetos nos quais participem instituições ou organizações da mesma categoria das suas (3,89 *log odds* positivo). Em particular, os participantes governamentais tendem a estar nos mesmos projetos de I&D. Este fato revela que os Estados-membros utilizam o Programa-Quadro como um instrumento para reforçar a investigação científica e tecnológica no desenvolvimento nacional da nanotecnologia.

Por outro lado, a dimensão tipológica revela que a formação de ligações entre agentes económicos da categoria empresarial, centros de investigação e ensino superior não é positiva, ou seja, não existe uma tendência preferencial (i.e. homofilia institucional) para estas instituições

escolherem projetos onde outras da mesma categoria estão presentes. Estes resultados são coerentes com os objetivos primordiais do 7ºPQ-NMP, ao aproximar o setor empresarial e industrial aos centros de saber como universidades ou centros de I&D.

Em suma, conclui-se que num modelo de análise estrutural, o tipo de organização é um fator institucional de formação de redes, em particular, se estas tiverem a participação de agências e/ou centros de I&D governamentais. O tecido empresarial tende a formar ligações com os outros tipos de organizações; este fato revela que as empresas procuram integrar projetos de I&D com os participantes que mais se adequam aos seus objetivos, ou seja, uma forma de institucionalismo racional presente na formação das redes de inovação.

O segundo conjunto de parâmetros e respectivas covariáveis dizem respeito às dimensões institucionais definidas à priori pelo enquadramento teórico e fazem parte das hipóteses de investigação. Ao contemplar um modelo institucional dos sistemas de inovação, agregador dos efeitos estruturais e dos atributos dos participantes da rede, os resultados levam a conclusões um pouco diferentes.

Na dimensão socioeconómica verifica-se que os participantes de sistemas de inovação com diferentes índices de especialização em produção científica tendem a estabelecer ligações com outros parceiros através dos projetos de I&D. Ou seja, existe uma grande variabilidade nos níveis de especialização em produção científica dos parceiros na rede. Já os participantes de sistemas de inovação com elevado índice de especialização em inovação (visto através das patentes) tendem a procurar parceiros com o mesmo nível de índice de especialização. Outra preferência estratégica é o fato de os participantes pertencentes a sistemas de inovação onde existem mais empresas dedicadas à produção e comercialização de nanotecnologia tendem a procurar outros participantes de sistemas idênticos ao seu. Por outro lado, pertencer a sistemas de inovação com elevada despesa pública em I&D não implica ligações preferenciais.

Na dimensão político-económica as divergências na formação de ligações mantem-se. Os participantes com origem em sistemas de inovação caracterizados por regimes económicos idênticos tendem a formar ligações estratégicas com outros do mesmo tipo de mercado. Por exemplo, participantes britânicos (i.e., economias de mercado liberais) tendem a participar em projetos nos quais existem outros participantes de regimes económicos idênticos. Por outro lado, pertencer a sistemas de inovação onde a aposta na formação avançada em nanotecnologia é

significativa não é razão suficiente para os participantes formarem ligações. O mesmo acontece se análise for feita às estratégias políticas onde os participantes de sistemas de inovação onde há políticas públicas que visam a nanotecnologia não tendem a formar ligações com outros com o mesmo nível.

Quanto à dimensão tecno-sociológica os dados evidenciam que os participantes de sistemas de inovação nos quais existe um número considerado de infraestruturas dedicadas à nanotecnologia tendem a formar ligações preferenciais. Por outro lado, a cobertura nacional de internet não contribui para a formação de ligações preferenciais.

Em conclusão a análise estrutural das dimensões institucionais da rede formada através dos projetos de I&D do 7ºPQ-NMP permite afirmar que existem parâmetros dos modelos que contribuem positivamente para a formação de ligações. Também se pode concluir que há outros modelos que contribuem de forma negativa, ou seja, com menor propensão para a formação de ligações.

A existência de determinados fatores relevantes no modelo institucional dos sistemas de inovação indica que de fato existe alguma preferência dos participantes em colaborar em projetos de I&D. Segundo a perspectiva neo-institucionalista, duas conclusões podem ser retiradas. Primeiro, verifica-se a evolução histórica na construção do Espaço Europeu da Inovação e da própria política científica europeia, marcada por momentos disruptivos, assinalados pelos Programas-Quadro e pela intervenção dos atores institucionais. Segundo, verifica-se a influência dos Estados-membros na formação das redes de inovação, em particular nas redes do 7ºPQ-NMP, através da participação de organizações científicas governamentais nos projetos de I&D. O mesmo tipo de influência parece ser utilizado por outros tipos de organizações do sistema nacionais de inovação, quando estes demonstram alguma escolha racional, quando se integram nos projetos de I&D.

De fato esta intervenção governamental desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de tecnologias emergentes, onde o esforço financeiro é mais elevado. Contudo, a par do financiamento, as organizações científicas governamentais tem também um papel moderador, na formação organiza das redes de inovação.

Após a avaliação analítica das dimensões propostas para definir o ambiente institucional dos participantes nos projetos de I&D do 7ºPQ-NMP, pode-se concluir que, existem fatores sistémicos e

institucionais passíveis de interpretação empírica, capazes de influenciar a formação de redes de inovação.

A proposta conceitual para determinar as dimensões institucionais, abordadas na literatura, convergiram numa análise complexa das redes sociais, formadas através das políticas públicas europeias para o desenvolvimento da ciência e tecnologia, nomeadamente o 7º Programa-Quadro para as nanotecnologias. A metodologia proposta, permitiu identificar e valorizar o impacto das variáveis institucionais e sistémicas na formação das redes de inovação, promovendo métodos avançados de análise de redes sociais nos estudos das políticas públicas.

Em conclusão pode-se afirmar que a nanotecnologia como tecnologia emergente encontra-se numa fase de consolidação nas políticas públicas. Perspetivadas através de redes de inovação, a utilização de indicadores de índole institucional, evidenciam a institucionalização da nanotecnologia, por outras palavras, esta tese traça o processo de institucionalização das tecnologias emergentes na política científica europeia.

### **Os desafios e oportunidades da investigação institucional aos sistemas de inovação**

Esta tese partiu do interesse em identificar fatores institucionais que afetam a estrutura e formação de redes de inovação em tecnologias emergentes como a nanotecnologia. Durante a investigação foi necessário enfrentar diversos desafios, quer no enquadramento teórico, quer na fase empírica.

O primeiro desafio e dificuldade remete para a reduzida literatura no âmbito dos estudos sobre inovação na perspetiva neo-institucionalista. De fato, existem algumas referências teóricas, como as Variedades de Capitalismo que sugerem um tipo de análise aos sistemas económicos, porventura aos sistemas de inovação. Contudo, o âmbito da investigação requeria a formulação de um modelo conceitual que introduzisse mais do que uma perspetiva institucional. Desta forma, a visão institucionalista da inovação tecnológica, de Raymund Werle, foi o ponto de partida para a definição do modelo e para a análise empírica. A tese apontou um caminho para aproximar os estudos da inovação à perspetiva institucionalista, como referenciada pelos teóricos das políticas públicas.

O segundo desafio e dificuldade recai sobre a opção de investigação empírica. Com as limitações de recursos inerentes a qualquer investigação social optou-se por uma metodologia de teor quantitativa. O acesso a base de dados dos projetos de I&D foi relativamente exequível, contudo a caracterização de todos os participantes nesses projetos, consumiu imenso tempo da investigação e a falta de determinados dados levou a um trabalho manual sujeito a algum erro humano.

O trabalho empírico foi ainda marcado pela dificuldade técnica em obter os resultados a partir dos meios informáticos. Para obter os resultados quantitativos foi necessário apreender modelos estatísticos complexos aplicados à linguagem de programação R. Este processo reviu-se de uma grande dificuldade ao requerer capacidades computacionais elevadas que foram colmatadas com ajuda do poder computacional da Fundação para a Computação Científica Nacional, pelo apoio da equipa da Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída (INCD).

Apesar de todos os desafios e dificuldades subjacentes a este trabalho acreditamos que esta investigação, bem como a metodologia empregue, são um contributo para o conhecimento científico, em particular para os estudos que utilizam métodos como a análise de redes sociais para a avaliação das políticas públicas.

A utilização de métodos quantitativos com elevado grau de complexidade, permite reforçar o portefólio de técnicas empíricas para a análise das políticas públicas. A Análise de Redes Sociais já demonstrou no passado ser um contributo importante na avaliação das políticas científicas e tecnológicas da Europa; nesta investigação a introdução de técnicas avançadas de modelação estatística elevou essa análise para patamares pouco explorados neste campo das ciências sociais.

Este trabalho deixa uma base de dados com cerca de cinco mil instituições e organizações caracterizadas segundo a sua tipologia nos respetivos sistemas científicos e tecnológicos nacionais que permite a qualquer investigador elaborar novos modelos em áreas científicas como a economia, sociologia ou políticas públicas. Sugere-se para futuras investigações a utilização complementar de métodos qualitativos, como entrevistas e análise documental para corroborar os fatores determinantes na formação de colaborações em redes de Investigação e Desenvolvimento.

Num exercício autónomo de perspetiva para os novos Programas-Quadro, esta investigação sugere a introdução de mecanismos que promovam projetos de I&D que contribuem para a

interligação entre o meio empresarial e a Universidade. Os centros de investigação têm pouca visibilidade no 7º PQ-NMP, mas são relevantes na translação do conhecimento científico para o mercado. Desta forma é pertinente introduzir, critérios do PQ que contribuam para aumentar a colaboração de centros de I&D, nos projetos de inovação.

Por último, as futuras políticas públicas para o progresso da nanotecnologia europeia deverão incluir mais atores socioeconómicos, nomeadamente organizações de cidadãos, focadas nos impactos sociais, económicos e ambientais desta tecnologia, que é ao mesmo tempo promissora e disruptiva.

## BIBLIOGRAFIA

- Abramo, G., D'Angelo, C., & Di Costa, F. (2014a). A New Approach to Measure the Scientific Strengths of Territories. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 66. <https://doi.org/10.1002/asi.23257>
- Abramo, G., D'Angelo, C., & Di Costa, F. (2014b). A new bibliometric approach to assess the scientific specialization of regions. In *Research Evaluation* (Vol. 23). <https://doi.org/10.1093/reseval/rvu005>
- Abreu, R. (2014). Portugal International Collaboration in Science and Technology Networks: Analysis the 7th Framework Program “Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and new Production Technologies.” *KITAB 2014 - Knowledge, Innovation and Technology Across Borders: An Emerging Research Agenda*.
- Agneessens, F., Moser, C., & Barnett, G. A. (2011). Bipartite Networks. *Encyclopedia of Social Networks*, 75–77.
- Ahrweiler, P. (2010). *Innovation in complex social systems*. Routledge.
- Ahrweiler, P., & Keane, M. T. (2013). Innovation networks. *ArXiv Preprint ArXiv:1308.2234*.
- Ahrweiler, P., Pyka, A., & Gilbert, N. (2011). A new model for university-industry links in knowledge-based economies. *Journal of Product Innovation Management*, 28(2), 218–235.
- Aigrain, P., Allen, G., e Oliveira, E. de A., Colombo, U., & Markl, H. (1989). The report of the framework review board. *Brussels: CEC*.
- Allhoff, F., Lin, P., Moor, J., Weckert, J., & Roco, M. C. (2007). *Nanoethics: The Ethical and Social Implications of Nanotechnology*: Wiley.
- Anderson, C. J., Wasserman, S., & Crouch, B. (1999). A p\* primer: Logit models for social networks. *Social Networks*, 21(1), 37–66.
- Anderson, D., & Slade, C. P. (2013). Agenda Setting in Emergent R&D Policy Subsystems: Examining Discourse Effects of the 21st Century Nanotechnology Research and Development Act. *Review of Policy Research*, 30(5), 447–463. <https://doi.org/10.1111/ropr.12033>
- Andrée, D. (2009). *Priority-setting in the European Research Framework Programmes*. VINNOVA – Swedish Governmental Agency for Innovation Systems.
- Anton, P. S., Silbergliitt, R., & Schneider, J. (2001). *The Global Technology Revolution: Bio/Nano/Materials Trends and Their Synergies with Information Technology by 2015*. Retrieved from <https://books.google.pt/books?id=nwqlU7VPwQcC>
- Archambault, É., Campbell, D., Gingras, Y., & Larivière, V. (2009). Comparing bibliometric statistics obtained from the Web of Science and Scopus. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60(7), 1320–1326.
- Asheim, B. T., & Gertler, M. S. (2009). The Geography of Innovation: Regional Innovation Systems. In J. Fagerberg & D. C. Mowery (Eds.), *The Oxford Handbook of Innovation* (pp. 291–317). <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0011>
- Auplat, C. A. (2009). Nanotechnology and institutional change: the co-industrial and institutional emergence of nanotechnology as a demonstrative case of a new form of institutional entrepreneurship. *Imperial College London*.

- Autant-Bernard, C., Billand, P., Frachisse, D., & Massard, N. (2007). Social distance versus spatial distance in R&D cooperation: empirical evidence from European collaboration choices in micro and nanotechnologies. *Papers in Regional Science*, 86(3), 495–519.
- Bainbridge, W., Montemagno, C., & Roco, M. (2003). *Converging Technologies for Improving Human Performance*.
- Balassa, B. (1979). The Changing Pattern of Comparative Advantage in Manufactured Goods. *The Review of Economics and Statistics*, 61(2), 259–266. Retrieved from <https://econpapers.repec.org/RePEc:tpr:restat:v:61:y:1979:i:2:p:259-66>
- Banchoff, T. (2002). Institutions, inertia and European Union research policy. *JCMS: Journal of Common Market Studies*, 40(1), 1–21.
- Barabási, A.-L., & Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286(5439), 509–512.
- Barber, M. J., Krueger, A., Krueger, T., & Roediger-Schluga, T. (2006). Network of European Union–funded collaborative research and development projects. *Physical Review E*, 73(3), 36132.
- Barzelay, M., & Gallego, R. (2006). From “New institutionalism” to “Institutional processualism”: advancing knowledge about public management policy change. *Governance*, 19(4), 531–557.
- Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009). Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. *Third International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*.
- Battard, N. (2012). Convergence and multidisciplinary in nanotechnology: Laboratories as technological hubs. *Technovation*, 32(3), 234–244. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.technovation.2011.09.001>
- Bauer, M. W., & Trondal, J. (2015). The administrative system of the European Union. In *The Palgrave handbook of the European administrative system* (pp. 1–28). Springer.
- Bavelas, A. (1950). Communication patterns in task-oriented groups. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 22(6), 725–730.
- Belso-Martínez, J. A., & Rovira-Jover, J. A. (2012). Local networks in low-innovative clusters. *XXXVIII Meeting of Regional Studies - AEER*, 39(1), 61–74. Retrieved from [www.reunionesdeestudiosregionales.org](http://www.reunionesdeestudiosregionales.org)
- Bergh, J. C. J. M. van den, & Stagl, S. (2003). Coevolution of economic behaviour and institutions: towards a theory of institutional change. *Journal of Evolutionary Economics*, 13(3), 289–317. <https://doi.org/10.1007/s00191-003-0158-8>
- Berube, D., Searson, E. M., Morton, T. S., & Cummings, C. (2010). Project on emerging nanotechnologies - Consumer product inventory evaluated. *Nanotechnology Law and Business*, 7, 152–163.
- Besussi, E. (2006). *Mapping European research networks*.
- Bezerianos, A., Chevalier, F., Dragicevic, P., Elmqvist, N., & Fekete, J.-D. (2010). Graphdice: A system for exploring multivariate social networks. *Computer Graphics Forum*, 29(3), 863–872. Wiley Online Library.
- Bhat, J. S. A. (2003). Concerns of new technology based industries: The case of nanotechnology. *Technovation Doi 101016jtechnovation09001*, 25(5), 457–462.
- Bhat, J. S. A. (2005). Concerns of new technology based industries—the case of nanotechnology. *Technovation*, 25(5), 457–462. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.technovation.2003.09.001>

- Binder, S. A., Rhodes, R. A. W., & Rockman, B. A. (Eds.). (2008). *The Oxford Handbook of Political Institutions*. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199548460.001.0001>
- Bjerregaard, T. (2009). *Industry and academia in convergence: Micro-institutional dimensions of R&D collaboration*. (Vol. 30).
- Blondel, V. D., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., & Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008(10), P10008.
- Boavida, N. (2015). *Decisions of technology innovation: The role of indicators* (Universidade Nova de Lisboa). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2998.0243>
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., & Hwang, D.-U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports*, 424(4), 175–308. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.physrep.2005.10.009>
- Bomirriya, R. P. (2014). *Topics in Exponential Random Graph Modeling*. The Pennsylvania State University, The Graduate School.
- Bonaccorsi, A., & Thoma, G. (2007). Institutional complementarity and inventive performance in nano science and technology. *Research Policy*, 36(6), 813–831. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.02.009>
- Boon, W., & Moors, E. (2008). Exploring emerging technologies using metaphors – A study of orphan drugs and pharmacogenomics. *Social Science & Medicine*, 66(9), 1915–1927. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2008.01.012>
- Borgatti, S. P., & Everett, M. G. (1997). Network analysis of 2-mode data. *Social Networks*, 19(3), 243–269.
- Borrás, S. (2003). *The innovation policy of the European Union: from government to governance*. Edward Elgar Publishing.
- Borrás, S. (2015). Reforms of National Innovation Policies in Europe: Coordinating Sensemaking across Countries. In S. Borrás & L. Seabrooke (Eds.), *Sources of National Institutional Competitiveness: Sensemaking in Institutional Change* (pp. 60–77). Retrieved from <https://books.google.pt/books?id=z4YwBgAAQBAJ>
- Boschma, R. (2005). Proximity and innovation: a critical assessment. *Regional Studies*, 39(1), 61–74.
- Boschma, R., & Frenken, K. (2010). The spatial evolution of innovation networks. A proximity perspective. *The Handbook of Evolutionary Economic Geography*, 120–135.
- Boyer, R. (2011). From the Lisbon Agenda to the Lisbon Treaty: national research systems in context of European integration and globalization. In H. Delanghe, U. Muldur, & L. Soete (Eds.), *European science and technology policy: towards integration or fragmentation?* Edward Elgar Publishing.
- Bozeman, B., Laredo, P., & Mangematin, V. (2007). Understanding the emergence and deployment of “nano” S&T. *Research Policy*, 36(6), 807–812. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.02.010>
- Brechi, S., Malerba, F., Schumpeterian, R., Edquist, C., & McKelvey, M. D. (2000). *Sectoral innovation System: Technological and Spatial Boundaries Systems of Innovation: Growth, Competitiveness and Employment (ed.): E. Elgar Pub*.
- Brennecke, J., & Rank, O. (2017). The firm’s knowledge network and the transfer of advice among corporate inventors—A multilevel network study. *Research Policy*, 46(4), 768–783. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.02.002>

- Breschi, S., & Cusmano, L. (2003). *Unveiling the texture of a European Research Area : Emergence of oligarchic networks under EU Framework Programmes*.
- Breschi, S., & Cusmano, L. (2004). Unveiling the texture of a European Research Area: emergence of oligarchic networks under EU Framework Programmes. *International Journal of Technology Management*, 27(8), 747–772.
- Broekel, T., & Hartog, M. (2013a). Determinants of cross-regional R&D collaboration networks: an application of exponential random graph models. In *The geography of networks and R&D collaborations* (pp. 49–70). Springer.
- Broekel, T., & Hartog, M. (2013b). Explaining the structure of inter-organizational networks using exponential random graph models. *Industry and Innovation*, 20(3), 277–295.
- Buckner, K., & Cruickshank, P. (2008). Social network analysis as a tool to evaluate the effectiveness of EC funded networks of excellence: The case of DEMO-net. *Hawaii International Conference on System Sciences, Proceedings of the 41st Annual*, 60. IEEE.
- C. Europeia. (2004). *Comunicação da Comissão: “Para uma Estratégia Europeia sobre Nanotecnologias.”* Brussels.
- Campbell, D., Archambault, E., Ventimiglia, A., Roberge, G., Lefebvre, C., Picard-Aitken, M., ... Innovation, E. C. D.-G. for R. and. (2013). *Country and Regional Scientific Production Profiles*. Publications Office.
- Caraça, J., Ferreira, J., & Mendonça, S. (2006). *Iniciativa COTEC “Desenvolvimento sustentado da inovação empresarial” : Modelos de Inovação*. Lisboa.
- Carlsson, B. (1997). *Technological Systems And Industrial Dynamics: Springer*.
- Carrington, P. J., Scott, J., & Wasserman, S. (2005). *Models and methods in social network analysis* (Vol. 28). Cambridge university press.
- Carroll, A., Mullins, M., Murphy, F., McAlea, E. M., & Hester, K. (2016). Nanomaterial and Nanotechnology Firms: A Typology. In *Managing Risk in Nanotechnology* (pp. 9–28). Springer.
- Cassi, L., Corrocher, N., Malerba, F., & Vonortas, N. (2008). The impact of EU-funded research networks on knowledge diffusion at the regional level. *Research Evaluation*, 17(4), 283–293.
- Castells, M. (2003). *The Internet Galaxy: Reflections on the Internet, Business and Society*. Taylor & Francis.
- CEE. (1960). Exposé général de M. Robert Marjolin, vice-président de la Commission de la Communauté économique européenne. *Progrès Technique et Marché Commun*, 19–26. Retrieved from <http://aei.pitt.edu/38644/1/A3454.pdf>
- CEE. (1972). *Bulletin of the European Communities* (10): “Statement from the Paris Summit.” Retrieved from [https://www.cvce.eu/content/publication/1999/1/1/b1dd3d57-5f31-4796-85c3-cfd2210d6901/publishable\\_en.pdf](https://www.cvce.eu/content/publication/1999/1/1/b1dd3d57-5f31-4796-85c3-cfd2210d6901/publishable_en.pdf)
- Cerami, A., & Stubbs, P. (2011). *Post-communist welfare capitalisms: Bringing institutions and political agency back in*.
- Comissão Europeia. (2005a). *COM(2005) 24 final: “Trabalhando juntos para o crescimento e o emprego: Um novo começo para a Estratégia de Lisboa.”* Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52005DC0024&from=PT>

- Comissão Europeia. (2005b). *COM(2005) 243 final Comunicado da Comissão ao Conselho , ao Parlamento Europeu e ao Comité Económico e Social Europeu, “Nanociências e Nanotecnologias: Plano de Acção para a Europa 2005-2009.”* Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52005DC0243&from=EN>
- Commission of the European Communities. (1996). *The First Action Plan for Innovation in Europe – Innovation for growth and employment.* Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1455698039590&uri=CELEX:51996DC0589>
- Commission of the European Communities. (1993). *Growth, Competitiveness, employment: the challenges and ways forward into the 21st century.* White paper Bulletin of the European Communities, Supplement 6/93.
- Conselho Europeu. (2004). *Projecto de conclusões do Conselho “Para uma estratégia europeia sobre nanotecnologias”* (p. 2). p. 2. Bruxelas.
- Conselho Europeu. (2006). *Decisão 2006/969/CE: Decisão do Conselho, de 18 de Dezembro de 2006 , relativa ao Sétimo Programa-Quadro da Comunidade Europeia da Energia Atómica (Euratom) de actividades de investigação e formação em matéria nuclear (2007 a 2011)* (p. L 391/19). p. L 391/19. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex:32006D0969>
- Cooke, P. (2007). *Regional Knowledge Economies: Markets, Clusters and Innovation: Edward Elgar Pub.*
- Cordis. (2012). *Reports and Studies.* Retrieved from [https://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/pe\\_reports\\_studies.htm](https://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/pe_reports_studies.htm)
- CORDIS. (2017). *CORDIS (Projects & Results).* Retrieved from [http://cordis.europa.eu/projects/home\\_en.html](http://cordis.europa.eu/projects/home_en.html)
- Coulon, F. (2005). The use of social network analysis in innovation research: A literature review. *Lund University.*
- Coutard, O. (2002). *The governance of large technical systems.* Routledge.
- Cowan, R., Jonard, N., & Zimmermann, J.-B. (2007). Bilateral collaboration and the emergence of innovation networks. *Management Science*, 53(7), 1051–1067.
- Cranmer, S. J., & Desmarais, B. A. (2011). Inferential network analysis with exponential random graph models. *Political Analysis*, 19(1), 66–86.
- Crespo, J., Suire, R., & Vicente, J. (2013). Lock-in or lock-out? How structural properties of knowledge networks affect regional resilience. *Journal of Economic Geography*, 14(1), 199–219.
- Cresson, E., & Bangemann, M. (1995). Green paper on innovation. *European Commission.*
- Davies, A. (1996). Innovation in large technical systems: the case of telecommunications. *Industrial and Corporate Change*, 5(4), 1143–1180.
- Davis, A., Gardner, B. B., & Gardner, M. R. (1941). *Deep South; a social anthropological study of caste and class.*
- de Haan, J. (2006). How emergence arises. *Ecological Complexity*, 3(4), 293–301.
- De Stefano, D., & Zaccarin, S. (2012). Exponential Random Graph Model for multivariate networks: an application in knowledge network analysis. *XLVI Riunione Scientifica Società Italiana Di Statistica.* Cleup.

- Deroian, F. (2002). Formation of social networks and diffusion of innovations. *Research Policy*, 31(5), 835–846.
- Deschacht, N., & Maes, B. (2017). Cross-cultural differences in self-promotion: A study of self-citations in management journals. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 90(1), 77–94. <https://doi.org/10.1111/joop.12162>
- DGRTD. (2009). *Evaluation of the Sixth Framework Programmes for Research and Technological Development 2002-2006, Report of the Expert Group*. Retrieved from [https://ec.europa.eu/research/evaluations/pdf/archive/other\\_reports\\_studies\\_and\\_documents/fp6\\_ex-post\\_evaluation\\_expert\\_group\\_report.pdf#view=fit&pagemode=none](https://ec.europa.eu/research/evaluations/pdf/archive/other_reports_studies_and_documents/fp6_ex-post_evaluation_expert_group_report.pdf#view=fit&pagemode=none)
- DGRTD. (2010). *Final Report Summary - GENNESYS (International congress on nanotechnology and research infrastructures)*. Retrieved from [https://cordis.europa.eu/project/rcn/96379\\_en.html](https://cordis.europa.eu/project/rcn/96379_en.html)
- DGRTD. (2012). *DG RTD Annual Report on Programme Evaluation Activities 2011*.
- DGRTD. (2015). *Commitment and Coherence: Ex-Post Evaluation of the 7th EU Framework Programme*.
- DiMaggio, P. J., & Powell, W. W. (1983). The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields. *American Sociological Review*, 147–160.
- Directorate-General for Research, Science-Metrix, Fraunhofer-Institut, & Research, O. (2015). *Study on Network Analysis of the 7th Framework Programme Participation: Final Report*. Retrieved from Publications Office of the European Union website: [https://books.google.pt/books?id=\\_5UYnQAACAAJ](https://books.google.pt/books?id=_5UYnQAACAAJ)
- Dodgson, M., Gann, D. M., & Phillips, N. (2013). Network Analysis in Innovation Research: The Future. In M. Dodgson, D. M. Gann, & N. Phillips (Eds.), *The Oxford handbook of innovation management* (pp. 111–113). OUP Oxford.
- Dosi, G., Llerena, P., & Labini, M. S. (2006). The relationships between science, technologies and their industrial exploitation: An illustration through the myths and realities of the so-called ‘European Paradox’’. *Research Policy*, 35(10), 1450–1464.
- Edquist, C. (1997). *Systems of Innovation: Technologies, Institutions, and Organizations: Pinter*.
- EEC Treaty or Treaty of Rome: Treaty Establishing the European Economic Community* (p. 25 March 1957, 298 U.N.T.S. 3, 4 Eur. Y.B. 412). (n.d.). Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:11957A/TXT>
- Eijmberts, J. (2013). *Governing new technology: a comparative analysis of government support for nanotechnology in the Netherlands and the United States*.
- Elsiever. (2017). *Scopus Database*. Retrieved from <http://scopus.com>
- Enzing, C.M., Mahieu, B., Poel, M., Potau, X., Beckert, B., Gotsch, M., Som, O., Thielmann, A., & Reiß, T. (2015). *Ex post Evaluation and Impact Assessment of Funding in the FP7 NMP Thematic Area*. <https://doi.org/10.2777/84440>
- EPO. (2017). *Esp@cenet Patent Database*. Retrieved from <https://worldwide.espacenet.com/>
- Erdos, P., & Rényi, A. (1960). On the evolution of random graphs. *Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci*, 5(1), 17–60.
- Etzkowitz, H. (2008). *The Triple Helix: University-Industry-Government Innovation in Action: Routledge*.

- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2", to a Triple Helix of University, Industry, Government relations. *Research Policy* *Doi 10.1016/S0048733399000554*, 29(2), 109–123.
- EU ODP. (2017). *EU Open Data Portal*. Retrieved from [https://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset?q=cordis&ext\\_boolean=all&sort=views\\_total+desc](https://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset?q=cordis&ext_boolean=all&sort=views_total+desc)
- European Commission. (1982). *Proposals for a European Scientific and Technical Strategy Framework Programme 1984-1987* (p. COM (82) 865 final). p. COM (82) 865 final. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:51983DC0865>
- European Commission. (1994a). *Commissioner A. Ruberti: "Towards a European policy of science and technology."* Retrieved from [http://cordis.europa.eu/news/rcn/2611\\_en.html](http://cordis.europa.eu/news/rcn/2611_en.html)
- European Commission. (1994b). *Commissioner Bangemann outlines the objectives of the European Union's Fourth Framework Programme. DG XIII*. Retrieved from [http://cordis.europa.eu/news/rcn/2404\\_en.html](http://cordis.europa.eu/news/rcn/2404_en.html)
- European Commission. (2000). *Towards a European Research Area*. Retrieved from <https://ec.europa.eu/research/era/pdf/com2000-6-en.pdf>
- European Commission. (2002). *The Sixth Framework Programme in brief*. Retrieved from [https://ec.europa.eu/research/fp6/pdf/fp6-in-brief\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/fp6/pdf/fp6-in-brief_en.pdf)
- European Commission. (2003a). *COM(2003) 112 final: Innovation policy: updating the Union's approach in context of the Lisbon strategy*. Retrieved from [http://ec.europa.eu/invest-in-research/pdf/download\\_en/innovation\\_policy Updating\\_union.pdf](http://ec.europa.eu/invest-in-research/pdf/download_en/innovation_policy Updating_union.pdf)
- European Commission. (2003b). *Nanosciences and Nanotechnologies in the European Research Programmes*. Retrieved from [https://cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano\\_in\\_fp\\_ec.pdf](https://cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano_in_fp_ec.pdf)
- European Commission. (2004). *COM(2004)338 final Communication from the Commission "Towards a European strategy for nanotechnology."* Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:i23024&from=EN>
- European Commission. (2005a). *COM(2005) 118 final: "Building the ERA of knowledge for growth"*. Retrieved from [http://www.unive.it/media/allegato/studi\\_prog\\_ricerca/programmi](http://www.unive.it/media/allegato/studi_prog_ricerca/programmi)
- European Commission. (2005b). *SEC(2005)431: Commission Staff Working Document "Simplification in the 7th Framework Programme"*. Retrieved from [https://ec.europa.eu/research/fp7/pdf/ec\\_2005\\_0431\\_1\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/fp7/pdf/ec_2005_0431_1_en.pdf)
- European Commission. (2008a). *C (2008) 424, "A Code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research."* Retrieved from [http://ec.europa.eu/research/science-society/document\\_library/pdf\\_06/nanocode-apr09\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/nanocode-apr09_en.pdf)
- European Commission. (2008b). *COM(2008) 366 final, Regulatory Aspects of Nanomaterials [SEC(2008)2036]*. Retrieved from [https://ec.europa.eu/research/industrial\\_technologies/pdf/policy/comm\\_2008\\_0366\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/policy/comm_2008_0366_en.pdf)
- European Commission. (2009a). *Fifth Framework Programme (Archive)*. Retrieved from <http://cordis.europa.eu/fp5/>
- European Commission. (2009b). *FP7 NMP Work Programme 2010: Cooperation (Theme 4) in Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and New Production Technologies, COM(2009)5893*. Retrieved from [http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/fp7/89023/d\\_wp\\_201001\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/fp7/89023/d_wp_201001_en.pdf)

- European Commission. (2010a). *Evaluation of the Sixth Framework Programmes for research and technological development 2002-2006: Report of expert group*. <https://doi.org/10.2777/84968>
- European Commission. (2010b). *Report on the European Commission's Public Online Consultation: Towards a Strategic Nanotechnology Action Plan (SNAP) 2010-2015*. Retrieved from [https://ec.europa.eu/research/consultations/snap/report\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/consultations/snap/report_en.pdf)
- European Commission. (2011). *FP7 NMP Work Programme 2012: Cooperation (Theme 4) in Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and New Production Technologies, COM(2011)5068*. Retrieved from [http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/fp7/89449/d-wp-201201\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/fp7/89449/d-wp-201201_en.pdf)
- European Council. (2002). Barcelona European Council (15 and 16 March 2002): Presidency Conclusions. *Office for Official Publications of the European Communities*. Retrieved from [http://ec.europa.eu/invest-in-research/pdf/download\\_en/barcelona\\_european\\_council.pdf](http://ec.europa.eu/invest-in-research/pdf/download_en/barcelona_european_council.pdf)
- European Council. (2007). *Council Conclusions on 1th Implementation Report 2005-2007*.
- European Parliament. (2000). *Conselho Europeu de Lisboa 23 e 24 de março de 2000: Conclusões da Presidência*. Retrieved from [www.europarl.europa.eu/summits/lis1\\_pt.htm](http://www.europarl.europa.eu/summits/lis1_pt.htm)
- European Parliament. (2006). *European Parliament resolution on nanosciences and nanotechnologies: an action plan for Europe 2005-2009*. Retrieved from <https://www.kowi.de/Portaldata/2/Resources/fp7/coop/eu-nano-policy-2004-08-en.pdf>
- European Parliament. (2017). *EU framework programmes for research and innovation: Evolution and key data from FP1 to Horizon 2020 in view of FP9*. <https://doi.org/10.2861/60724>
- European Patent Office. (2013). *Nanotechnology and patents*. Munich.
- European Research Area Committee. (2010). *Joint Programming in research 2008-2010 and beyond*. Brussels.
- Eurostat. (2017). *Eurostat database (Science and Technology)*. Retrieved from <http://ec.europa.eu/eurostat/web/science-technology-innovation/data/database>
- Fagerberg, J., & Srholec, M. (2008). National innovation systems, capabilities and economic development. *Research Policy*, 37(9), 1417–1435. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.06.003>
- Feynman, R. P. (1960). There's plenty of room at the bottom. *Engineering and Science*, 23(5 SRC-GoogleScholar FG-0), 22–36.
- Frank, O., & Strauss, D. (1986). Markov graphs. *Journal of the American Statistical Association*, 81(395), 832–842.
- Freeman, C. (1987). *Technology, policy, and economic performance: lessons from Japan: Pinter Publishers*.
- Freeman, C. (1991). Networks of innovators : of research issues. *Research Policy*, 20, 499–514.
- Freeman, L. (2004). *The development of social network analysis*.
- Freeman, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 35–41.
- Freeman, L. C. (2011). The development of social network analysis-With an emphasis on recent events. *The Sage Handbook of Social Network Analysis*, 21(3), 26–39.
- Garas, A., & Argyrakis, P. (2009). A network approach for the scientific collaboration in the European Framework Programs. *EPL (Europhysics Letters)*, 84(6), 68005.

- Gault, F. (2013). Handbook of Innovation Indicators and Measurement. In *Handbook of innovation indicators and measurement*. <https://doi.org/10.4337/9780857933652>
- Geels, F. W. (2007). Transformations of Large Technical Systems: A Multilevel Analysis of the Dutch Highway System (1950-2000). *Science, Technology, & Human Values*, 32(2), 123–149. <https://doi.org/10.1177/0162243906293883>
- Geyer, C. J., & Thompson, E. A. (1992). Constrained Monte Carlo maximum likelihood for dependent data. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 657–699.
- Ghiassi, G., & Larivière, V. (2015). Sectoral systems of innovation: the case of robotics research activities. *Scientometrics*, 104(2), 407–424. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1611-9>
- Godinho, M. M., In, M. J., & Rodrigues, A. (2003). Inovação: Conceitos e Perspectivas Fundamentais. *Neves M M Godinho Eds Para Uma Política De Inovação Em Portugal Pp 35 Lisboa Dom Quixote*.
- Goldenberg, A., Zheng, A. X., Fienberg, S. E., & Airoldi, E. M. (2010). A survey of statistical network models. *Foundations and Trends® in Machine Learning*, 2(2), 129–233.
- Goodreau, S. M., Handcock, M. S., Hunter, D. R., Butts, C. T., & Morris, M. (2008). A statnet Tutorial. *Journal of Statistical Software*, 24(9), 1–27.
- Granovetter, M. S. (1973). The strength of weak ties. *American Journal of Sociology*, 78(6), 1360–1380.
- Granqvist, N., & Kaupparokkeakoulu, H. (2007). *Nanotechnology and Nanolabeling: Essays on the Emergence of New Technological Fields: Helsinki School of Economics*.
- Greek Presidency of EU. (2003). *The European Research and Innovation Area: The way forward. A contribution of the Greek Presidency for further thought*. Retrieved from [archives.gsrt.gr/Home/getFile/3427](http://archives.gsrt.gr/Home/getFile/3427)
- Green, K., Hull, R., McMeekin, A., & Walsh, V. (1999). The construction of the techno-economic: networks vs. paradigms. *Research Policy*, 28(7), 777–792.
- Grupp, H., & Mogege, M. E. (2004). Indicators for national science and technology policy: how robust are composite indicators? *Research Policy*, 33(9), 1373–1384. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.09.007>
- Gupta, N., Fischer, A. H., George, S., & Frewer, L. (1838). Expert views on societal responses to different applications of nanotechnology: a comparative analysis of experts in countries with different economic and regulatory environments. *Journal of Nanoparticle Research Doi 101007s110510134*, 15(8), 1–15.
- Hage, J., & Hollingsworth, J. R. (2000). A strategy for the analysis of idea innovation networks and institutions. *Organization Studies*, 21(5), 971–1004.
- Hage, J., & Meeus, M. (2009). *Innovation, Science, and Institutional Change: A Research Handbook*. New York, NY, USA: Oxford University Press, Inc.
- Hall, P. A. (2018). Varieties of capitalism in light of the euro crisis. *Journal of European Public Policy*, 25(1), 7–30.
- Hall, P. A., & Soskice, D. W. (2001). *Introduction to Varieties of Capitalism Varieties of capitalism: The institutional foundations of comparative advantage (Vol. 8): Wiley Online Library*.
- Hall, P. A., & Taylor, R. C. (1996). Political Science and the Three New Institutionalisms. *Political Studies*, 44(5), 936–957.

- Hancké, B. . *Debating varieties of capitalism: A reader*: Oxford University Press. (2009).
- Handcock, M. S., Robins, G., Snijders, T., Moody, J., & Besag, J. (2003). *Assessing degeneracy in statistical models of social networks*. Citeseer.
- Hanneman, R. A., & Riddle, M. (2005). *Introduction to social network methods*. University of California Riverside.
- Hargrave, T. J., & Van De Ven, A. H. (2006). A Collective Action Model of Institutional Innovation. *The Academy of Management Review*, 31(4), 864–888. <https://doi.org/10.2307/20159256>
- Hazir, C. S. (2013). Multilateral R&D collaboration: an ERGM application on biotechnology. In *The geography of networks and R&D collaborations* (pp. 221–237). Springer.
- Hermans, F., Sartas, M., Van Schagen, B., van Asten, P., & Schut, M. (2017). Social network analysis of multi-stakeholder platforms in agricultural research for development: Opportunities and constraints for innovation and scaling. *PloS One*, 12(2), e0169634.
- Herrmann, A. M., & Peine, A. (2011). When ‘national innovation system’ meet “varieties of capitalism” arguments on labour qualifications: On the skill types and scientific knowledge needed for radical and incremental product innovations.” (Vol. 40).
- Hesto, P., Lourtioz, J.-M., Dupas-Haeberlin, C., Lahmani, M., & Dubouchet, T. (2016). Nanotechnology and Industry. In *Nanosciences and Nanotechnology* (pp. 339–356). Springer.
- Hix, S., & Høyland, B. (2011). *The Political System of the European Union*. In *The European Union Series*. Retrieved from <https://books.google.pt/books?id=vKMcbQAAQBAJ>
- Holland, P. W., & Leinhardt, S. (1976). Local Structure in Social Networks. *Sociological Methodology*, 7, 1–45. <https://doi.org/10.2307/270703>
- Holland, P. W., & Leinhardt, S. (1981). An exponential family of probability distributions for directed graphs. *Journal of the American Statistical Association*, 76(373), 33–50.
- Hollingsworth, J. R. (1997). *Contemporary capitalism: The embeddedness of institutions*. Cambridge University Press.
- Hollingsworth, J. R. (2000). Doing institutional analysis: implications for the study of innovations. *Review of International Political Economy*, 7(4), 595–644.
- Hollingsworth, J. R. (2002). Social Systems of Production and Beyond. *Advancing Socio-Economics: An Institutional Perspective*, 239–252.
- Hollingsworth, J. R. (2006). A path-dependent perspective on institutional and organizational factors shaping major scientific discoveries. *Innovation, Science, and Institutional Change*, pp. 423–442. Oxford [u.a.]: Oxford Univ. Press.
- Hollingsworth, J. R., & Hollingsworth, E. J. (2000). Major discoveries and biomedical research organizations: perspectives on interdisciplinarity, nurturing leadership, and integrated structure and cultures. *Practising Interdisciplinarity*, 215–244.
- Hoser, N. (2013). Public funding in the academic field of nanotechnology: a multi-agent based model. *Computational and Mathematical Organization Theory* Doi 101007s105880139158x, 19(2), 253–281.
- Huang, L., & Lu, W. (2009). Studies on Emerging Technology Industrialization Potential by System Dynamics. *2009 International Conference on Management and Service Science*, 1–5. IEEE.

- Hughes, T. P. (1987). The evolution of large technological systems. *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, 51–82.
- Hughes, T. P. (1993). *Networks of power: electrification in Western society*, : Johns Hopkins University Press.
- Hunter, D. R. (2007). Curved exponential family models for social networks. *Social Networks*, 29(2), 216–230.
- Hunter, D. R., Goodreau, S. M., & Handcock, M. S. (2008). Goodness of fit of social network models. *Journal of the American Statistical Association*, 103(481), 248–258.
- Hunter, D. R., Goodreau, S. M., & Handcock, M. S. (2013). ergm.userterms: A Template Package for Extending statnet. *Journal of Statistical Software*, 52(2), i02.
- Hunter, D. R., & Handcock, M. S. (2006). Inference in curved exponential family models for networks. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 15(3), 565–583.
- Hunter, D. R., Handcock, M. S., Butts, C. T., Goodreau, S. M., & Morris, M. (2008). ergm: A Package to Fit, Simulate and Diagnose Exponential-Family Models for Networks. *Journal of Statistical Software*, 24(3), nihpa54860.
- Illyefalvi-Vitez, Z. (2014). *Global Networks on Nanotechnology Education*.  
<https://doi.org/10.1109/SIITME.2014.6967044>
- Inshakova, E., & Inshakov, O. (2017). World market for nanomaterials: structure and trends. *MATEC Web of Conferences*, 129, 2013. EDP Sciences.
- Invernizzi, N. (2011). Nanotechnology between the lab and the shop floor: what are the effects on labor? *Journal of Nanoparticle Research*, 13(6), 2249–2268. <https://doi.org/10.1007/s11051-011-0333-z>
- Islam, N., & Miyazaki, K. (2008). Nanotechnology innovation system: Understanding hidden dynamics of nanoscience fusion trajectories. *Technological Forecasting and Social Change Doi 101016jtechfore03021*, 76(1), 128–140.
- J., G. M. (2002). New Institutional Explanations for Institutional Change: A Note of Caution. *Politics*, 21(2), 137–145. <https://doi.org/10.1111/1467-9256.00145>
- Jafari, A., Shariatpanahi, S. P., Zolfagharzadeh, M. M., & Mohammadi, M. (2016). The effect of network structure on innovation initiation process: an evolutionary dynamics approach. *ArXiv Preprint ArXiv:1604.04758*.
- Jha, S. K. (2011). Social network perspective on innovation: A review. *Internet Multimedia Systems Architecture and Application (IMSAA), 2011 IEEE 5th International Conference On*, 1–6. IEEE.
- Kalyagin, V. A., Koldanov, A. P., & Pardalos, P. M. (2016). On multivariate network analysis of statistical data sets with different measures of association. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 76(1), 83–92. <https://doi.org/10.1007/s10472-015-9464-8>
- Katz, J. S. (2006). Indicators for complex innovation systems. *Research Policy*, 35(7), 893–909.
- Kingdon, J. W., & Thurber, J. A. (1984). *Agendas, alternatives, and public policies* (Vol. 45). Little, Brown Boston.
- Kingston, C., & Caballero, G. (2009). Comparing theories of institutional change. *Journal of Institutional Economics*, 5(02), 151–180.

- Kitagawa, F. (2005). The Fukuoka silicon sea-belt project—An East Asian experiment in developing transnational networks. *European Planning Studies*, 13(5), 793–799.
- Kline, S. J., & Rosenberg, N. (1986). An overview of innovation. *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*, 14, 640.
- Kolaczyk, E. D. (2009). *Statistical Analysis of Network Data: Methods and Models*. In *Springer Series in Statistics*. Retrieved from <https://books.google.pt/books?id=Q-GNLsq7QwC>
- Kolaczyk, E. D., & Csárdi, G. (2014). *Statistical analysis of network data with R* (Vol. 65). Springer.
- Koskinen, J., & Daraganova, G. (2013). Exponential Random Graph models Fundamentals. In *Exponential random graph models for social networks: Theory, methods, and applications*. Cambridge University Press.
- Kuhn, T. S. (1962). The structure of scientific revolutions. *Chicago and London*.
- Laatsit, M., & Borrás, S. (2016). *Towards a Typology of Innovation System Evaluation Practices: Evidence from EU Member States*.
- Latapy, M., Magnien, C., & Del Vecchio, N. (2008). Basic notions for the analysis of large two-mode networks. *Social Networks*, 30(1), 31–48.
- Lazega, E., & Higgins, S. (2014). *Redes Sociais e Estruturas Relacionais*.
- Leavitt Harold, J. (1951). *Some effects of communication patterns on group performance*. *Journal of abnormal and social psychology* vol. 46.
- Lee, S. Y. (2016). Introduction to Statistical Inference in Social Network Analysis. *Journal of Research Methodology*, 1(2), 113. <https://doi.org/10.21487/jrm.2016.11.1.2.113>
- Lee, T., & Bai, B.-I. (2013). Network Analysis of Free Trade Agreements: Homophily and Transitivity. *The Korean Journal of International Studies*, 11(2), 263–293.
- Lewes, G. H. (1875). *Problems of life and mind*. Lodon: Trübner & Company.
- Lewin, K., & Lippitt, R. (1938). An experimental approach to the study of autocracy and democracy: A preliminary note. *Sociometry*, 1(3/4), 292–300.
- Leydesdorff, L. (2018). Synergy in Knowledge-Based Innovation Systems at National and Regional Levels: The Triple-Helix Model and the Fourth Industrial Revolution. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, Vol. 4. <https://doi.org/10.3390/joitmc4020016>
- Leydesdorff, L., Bornmann, L., & Wagner, C. S. (2017). The relative influences of government funding and international collaboration on citation impact. *ArXiv Preprint ArXiv:1712.04659*.
- Lomi, A., & Pattison, P. (2006). Manufacturing relations: An empirical study of the organization of production across multiple networks. *Organization Science*, 17(3), 313–332.
- Lu, W. (2011). Study on characteristic of emerging technology. *2011 International Conference on Management and Service Science*, 1–5. IEEE.
- Lu, X., Zhou, W., Zhao, Y., Zhu, Y., & Fei, S. (2013). *Inter-Firm Innovation Networks: The Impact of Scale-Free Property on Firm Innovation BT - Emerging Technologies for Information Systems, Computing, and Management* (W. E. Wong & T. Ma, Eds.). [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7010-6\\_115](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7010-6_115)

- Lundvall, B. (2010). *Introduction to National System of Innovation National Systems of Innovation: Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning (pp. )*: Anthem Press. 1–17.
- Lusher, D., Koskinen, J., & Robins, G. (2012). *Exponential random graph models for social networks: Theory, methods, and applications*. Cambridge University Press.
- Lusher, D., & Robins, G. (2012). What are Exponential Random Graph Models? In D. Lusher, J. Koskinen, & G. Robins (Eds.), *Exponential Random Graph Models for Social Networks: Theory, Methods, and Applications* (Cambridge, pp. 9–15). Cambridge University Press.
- Lusher, D., & Robins, G. (2013). Formation of social networkstructure. In D. Lusher, J. Koskinen, & G. Robins (Eds.), *Exponential random graph models for social networks: Theory, methods, and applications*. Cambridge University Press.
- Lusher, D., Robins, G., & Koskinen, J. (2012). Example Exponential Random Graph Model Analysis. In D. Lusher, G. Robins, & J. Koskinen (Eds.), *Exponential Random Graph Models for Social Networks: Theory, Methods, and Applications* (pp. 37–46). <https://doi.org/DOI: 10.1017/CBO9780511894701.006>
- Lypov, V. (2015). Systems of higher education: a comparative institutional analysis. *Економіка Розвитку*, (4), 21–32.
- Malerba, F. (2002). Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy Doi 101016s0048733301001391*, 31(2), 247–264.
- Malerba, F., In, J., & Fagerberg, D. C. (2006). *Sectorial Systems: How and Why Innovation Differs across Sectors*.
- Malsch, I. (1999). Nanotechnology in Europe: scientific trends and organizational dynamics. *Nanotechnology*, 10(1), 1.
- March, J. G., & Olsen, J. P. (1983). The new institutionalism: Organizational factors in political life. *American Political Science Review*, 78(3), 734–749.
- March, J. G., & Olsen, J. P. (2006). Elaborating the “new institutionalism.” In *The Oxford handbook of political institutions* (Vol. 5, pp. 3–20). Oxford University Press Oxford.
- Marsden, P. V., & Friedkin, N. E. (1993). Network studies of social influence. *Sociological Methods & Research*, 22(1), 127–151.
- Martín-Martín, A., Orduna-Malea, E., Thelwall, M., & López-Cózar, E. D. (2018). Google Scholar, Web of Science, and Scopus: A systematic comparison of citations in 252 subject categories. *Journal of Informetrics*, 12(4), 1160–1177.
- Mayntz, R., & Hughes, T. P. (1988). *The development of large technical systems*. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Mercan, B., & Gökaş, D. (2011). Components of Innovation Ecosystems: A Cross-Country Study. *International Research Journal of Finance and Economics*, 76, 102–112.
- Metag, J., & Marcinkowski, F. (2013). Technophobia towards emerging technologies? A comparative analysis of the media coverage of nanotechnology in Austria, Switzerland and Germany. *Journalism Doi 1011771464884913491045*.
- Meyer, J. W., & Scott, W. R. (1992). *Organizational environments: Ritual and rationality*. Sage Publications, Inc.
- Miyazaki, K., & Islam, N. (2007). Nanotechnology systems of innovation: An analysis of industry and

academia research activities. *Technovation* Doi 10.1016/j.technovation.2009.05.009, 27(11), 661–675.

Molina, O., & Rhodes, M. (2007). The political economy of adjustment in mixed market economies: A study of Spain and Italy. *Beyond Varieties of Capitalism: Conflict, Contradictions and Complementarities in the European Economy*, 223–252.

Moreno, J. L. (1934). *Who shall survive?: A new approach to the problem of human interrelations*.

Moreno, J. L., Whitin, E. S., & Jennings, H. H. (1932). *Application of the group method to classification*. National committee on prisons and prison labor.

Morris, M., Handcock, M. S., & Hunter, D. R. (2008). Specification of exponential-family random graph models: terms and computational aspects. *Journal of Statistical Software*, 24(4), 1548.

Mowery, D., & Rosenberg, N. (1979). *The influence of market demand upon innovation: a critical review of some recent empirical studies*. (Vol. 8).

Muelder, C., Gou, L., Ma, K.-L., & Zhou, M. X. (2014). *Multivariate Social Network Visual Analytics BT - Multivariate Network Visualization: Dagstuhl Seminar #13201, Dagstuhl Castle, Germany, May 12-17, 2013, Revised Discussions* (A. Kerren, H. C. Purchase, & M. O. Ward, Eds.). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-06793-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-06793-3_3)

Muñoz-Écija, T., Vargas-Quesada, B., Chinchilla-Rodríguez, Z., Gómez-Núñez, A., & Moya-Anegón, F. (2013). Nanoscience and Nanotechnology in Scopus: Journal Identification and Visualization. In *Proceedings of ISSI 2013 - 14th International Society of Scientometrics and Informetrics Conference* (Vol. 2).

NANOFutures. (2017a). *Documents*. Retrieved from <http://www.nanofutures.info/documents>

NANOFutures. (2017b). *European initiative for sustainable development by Nanotechnologies*. Retrieved from <http://www.nanofutures.info/about>

NanoSTAG. (2003). *Final Report. COST Nanoscience and Nanotechnology Advisory Group (NanoSTAG) presented to the Committee of Senior Officials at its meeting on February 6-7, 2003 in Strasbourg*. Retrieved from <https://cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nanostag-final-report.pdf>

Nanothinking. (2016). NanoTechMap.

Nanowerk. (2017). *Nanotechnology companies and laboratories*.

Nanowerk. (2018a). Companies and labs directory. Retrieved from [https://www.nanowerk.com/nanotechnology/research/nanotechnology\\_links.php](https://www.nanowerk.com/nanotechnology/research/nanotechnology_links.php)

Nanowerk. (2018b). Nanotechnology Degree Programs. Retrieved from [https://www.nanowerk.com/nanotechnology/nanotechnology\\_degrees.php](https://www.nanowerk.com/nanotechnology/nanotechnology_degrees.php)

Nelson, R. R. (1993). National Systems Of Innovation: A Comparative Analysis. In *Oxford University Press*. Oxford University Press.

Newman, M. E. J. (2001). The structure of scientific collaboration networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(2), 404–409.

Newman, M. E. J. (2003). The structure and function of complex networks. *SIAM Review*, 45(2), 167–256.

Newman, M. E. J. (2004). Analysis of weighted networks. *Physical Review E*, 70(5), 56131.

Newman, M. E. J. (2006). Modularity and community structure in networks. *Proceedings of the National*

*Academy of Sciences*, 103(23), 8577–8582.

- Nordin, P. (2007). Institutionalism , Institutional Change and Policy Networks in European Industrial Relations. *Industrial Relations*, Vol. 54, pp. 1–30. Retrieved from [http://www.mv.helsinki.fi/nordin/Institutionalism\\_Paper.pdf](http://www.mv.helsinki.fi/nordin/Institutionalism_Paper.pdf)
- North, D. C. (1990). *Institutions, institutional change and economic performance: Cambridge university press*.
- North, D. C. (1990). *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge university press.
- ObservatoryNANO. (2012). *Developments in Nanotechnologies Regulation and Standards - 2012*.
- OECD. (1999). Managing National Innovation Systems, France. *Oecd*, pp. 5–112. <https://doi.org/10.1787/9789264189416-en>
- OECD. (2002). *Frascati Manual 2002: Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1787/9789264199040-en>
- OECD. (2015a). *Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development*. Paris: OECD Publishing.
- OECD. (2015b). *OECD Digital Economy Outlook 2015*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1787/9789264232440-en>
- OECD. (2015c). *Policy environments and governance for innovation and sustainable growth through nanotechnology*. Retrieved from [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=dsti/stp/nano\(2013\)13/final&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=dsti/stp/nano(2013)13/final&doclanguage=en)
- OECD. (2017). *Nanotechnology-related resources (portals, networks and research facilities) by country*. Retrieved from <http://www.oecd.org/sti/nano/nanotechnology-relatedresourcesportalsnetworksandresearchfacilitiesbycountry.htm>
- Okabayashi, S. (2011). *Parameter estimation in social network models*. university of minnesota.
- Ostrom, E. (2007). *Institutional rational choice: an assessment of the institutional analysis and development framework*.
- Owen-Smith, J., Riccaboni, M., Pammolli, F., & Powell, W. W. (2002). A comparison of US and European university-industry relations in the life sciences. *Management Science*, 48(1), 24–43.
- Palan, N. (2010). *Measurement of Specialization – The Choice of Indices*.
- Pandza, K., & Holt, R. (2007). Absorptive and transformative capacities in nanotechnology innovation systems. *J Eng Technol Manag Doi 101016jjengtecman09007*, 24(4), 347–365.
- Pandza, K., Wilkins, T. A., & Alfoldi, E. A. (2011). Collaborative diversity in a nanotechnology innovation system: Evidence from the EU Framework Programme. *Technovation*, 31(9), 476–489. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.technovation.2011.05.003>
- Papaconstantinou, G., & Polt, W. (1997). Policy evaluation in innovation and technology: an overview. *Conference Policy Evaluation in Innovation and Technology, Capítulo, 1*.
- Park, J., & Newman, M. E. J. (2004). Solution of the two-star model of a network. *Physical Review E*, 70(6), 66146.

- Park, J., & Newman, M. E. J. (2005). Solution for the properties of a clustered network. *Physical Review E*, 72(2), 26136.
- Parlamento Europeu & Conselho Europeu. (2002). *Decisão N.º 1513/2002/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de Junho de 2002* (p. L 232/22). p. L 232/22. Jornal Oficial das Comunidades Europeias.
- Parlamento Europeu & Conselho Europeu. (2006). *Decisão n. o 1982/2006/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 18 de Dezembro de 2006, relativa ao Sétimo Programa-Quadro da Comunidade Europeia de actividades em matéria de investigação, desenvolvimento tecnológico e demonstração (2007 a 2013)* (p. L 412/1). p. L 412/1. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex:32006D1982>
- Pekkarinen, S., & Harmaakorpi, V. (2006). Building regional innovation networks: The definition of an age business core process in a regional innovation system. *Regional Studies*, 40(4), 401–413.
- PEN. (2013). Project on Emerging Nanotechnologies.
- Peters, B. G. (2011). *Institutional theory in political science: The new institutionalism*. Bloomsbury Publishing USA.
- Peterson, J. (1995). Decision-making in the European Union: Towards a framework for analysis. *Journal of European Public Policy*, 2(1), 69–93. <https://doi.org/10.1080/13501769508406975>
- Peterson, J. (2003). “Policy Networks.”
- Pierson, P., & Skocpol, T. (2002). Historical institutionalism in contemporary political science. *Political Science The State of the Discipline* 3.
- Pinheiro, M. L., Lucas, C., & Pinho, J. C. (2015). Social network analysis as a new methodological tool to understand university–industry cooperation. *International Journal of Innovation Management*, 19(01), 1550013.
- Pinheiro, M. L., Serôdio, P., Pinho, J. C., & Lucas, C. (2016). The role of social capital towards resource sharing in collaborative R&D projects: Evidences from the 7th Framework Programme. *International Journal of Project Management*, 34(8), 1519–1536. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.07.006>
- Pinto, H., & Santos Pereira, T. (2013). Efficiency of innovation systems in Europe: an institutional approach to the diversity of national profiles. *European Planning Studies*, 21(6), 755–779.
- Porter, A. L., Garner, J., Carley, S. F., & Newman, N. C. (2019). Emergence scoring to identify frontier R&D topics and key players. *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 628–643.
- Porter, A. L., Roessner, J. D., Jin, X.-Y., & Newman, N. C. (2002). Measuring national ‘emerging technology’ capabilities. *Science and Public Policy*, 29(3), 189–200. <https://doi.org/10.3152/147154302781781001>
- Porter, K., Whittington, K. B., & Powell, W. W. (2005). The institutional embeddedness of high-tech regions: relational foundations of the Boston biotechnology community. *Clusters, Networks, and Innovation*, 261, 296.
- Ramboll Management Consulting Oy, Kungliga Tekniska Högskolan, & Spinverse Oy. (2013). *NANOMETRICS - A Technometric and Socio-Economic Analysis System to Support the Development of European Nanotechnology Strategy Options (Part I: Monitoring System)*. <https://doi.org/10.2777/39548>

- Rapoport, A. (1957). Contribution to the theory of random and biased nets. *Bulletin of Mathematical Biology*, 19(4), 257–277.
- Rezende, F. (2012). d. C. . Do Institutions Produce Institutional Change? The New Historical Institutionalism and Analytic Innovations in the Theory of Change. *Brazilian Political Science Review*, 5(1), 129–152.
- Ribhegge, H., Powell, W. W., & DiMaggio, P. J. (1993). *The New Institutionalism in Organizational Analysis*. JSTOR.
- Riccaboni, M., & Pammolli, F. (2002). On firm growth in networks. *Research Policy*, 31(8), 1405–1416.
- Robins, G. (2011). Exponential random graph models for social networks. *Handbook of Social Network Analysis*. Sage.
- Robins, G., & Daraganova, G. (2013). Social Selection, Dyadic Covariates, and Geospatial Effects. In D. Lusher, J. Koskinen, & G. Robins (Eds.), *Exponential random graph models for social networks: Theory, methods, and applications*. Cambridge University Press.
- Robins, G., Pattison, P., & Elliott, P. (2001). Network models for social influence processes. *Psychometrika*, 66(2), 161–189. <https://doi.org/10.1007/BF02294834>
- Robins, G., Pattison, P., Kalish, Y., & Lusher, D. (2007). An introduction to exponential random graph (p\*) models for social networks. *Social Networks*, 29(2), 173–191. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.socnet.2006.08.002>
- Robins, G., Pattison, P., & Woolcock, J. (2005). Small and other worlds: Global network structures from local processes. *American Journal of Sociology*, 110(4), 894–936.
- Robins, G., Snijders, T., Wang, P., Handcock, M., & Pattison, P. (2007). Recent developments in exponential random graph (p\*) models for social networks. *Social Networks*, 29(2), 192–215.
- Roco, M. C., Williams, R. S., & Alivisatos, P. (2001). *Nanotechnology research directions : IWGN Workshop report : vision for Nanotechnology R & D in the next decade*. Dordrecht; Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Rodrigues, M. J. (2009). *Europe, globalization and the Lisbon Agenda*. Edward Elgar Publishing.
- Rodrigues, M. J., & Cadeiras, P. (2003). Conselho Europeu de Lisboa: Conclusões da Presidência. In *A agenda económica e social da União Europeia: a Estratégia de Lisboa*. Dom Quixote.
- Roediger-Schluga, T., & Barber, M. J. (2008). R&D collaboration networks in the European Framework Programmes: Data processing, network construction and selected results. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 4(3–4), 321–347.
- Rotolo, D., Hicks, D., & Martin, B. (2015). What Is an Emerging Technology? *Research Policy*, 44, 1827–1843. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.06.006>
- Sabatier, P. A. (1988). An advocacy coalition framework of policy change and the role of policy-oriented learning therein. *Policy Sciences*, 21(2), 129–168. <https://doi.org/10.1007/BF00136406>
- Sabatier, P. A., Boulder, C. O., Schumpeter, J. A., Clemence, R. R. V., & Business, I. (1951). *Theories of the policy process: Westview Press & Essays: On Entrepreneurs, and the Evolution of Capitalism: Transaction Publishers*.
- Salavisa, I., Sousa, C., & Fontes, M. (2012). Topologies of innovation networks in knowledge-intensive sectors: Sectoral differences in the access to knowledge and complementary assets through formal and

informal ties. *Technovation*, 32(6), 380–399.

SCENIHR. (2009). *Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR): Risk Assessment of Products of Nanotechnologies*. DGHC.

Scheu, M., Veeffkind, V., Verbandt, Y., Galan, E. M., Absalom, R., & Förster, W. (2006). Mapping nanotechnology patents: The EPO approach. *World Patent Information*, 28(3), 204–211.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wpi.2006.03.005>

Schilling, M. A., & Phelps, C. (2005). Interfirm knowledge networks and knowledge creation: the impact of “small-world” connectivity. *Under Review at Academy of Management*.

Schumpeter, J. A. (1951). *Essays: On entrepreneurs, innovations, business cycles, and the evolution of capitalism*. Transaction Publishers.

Scott, J. (2012). *Social network analysis* (Third Edit). Sage.

Scott, J. P. (2000). *Social Network Analysis: A Handbook*.

Scott, W. R. (2008). *Institutions and organizations: Ideas and interests*. Sage.

SEA: *Single European Act* (p. 17 February 1986, 1987 O.J. (L 169) 1, 25 I.L.M. 5). (1987). Retrieved from <http://nyulaw.libguides.com/content.php?pid=311182&sid=2609234>

Shumpeter, J., & Stiglitz, J. (2010). *Capitalism, Socialism and Democracy*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780203857090>

Skvoretz, J., & Faust, K. (1999). Logit models for affiliation networks. *Sociological Methodology*, 29(1), 253–280.

Snijders, T. A. B. (2001). The statistical evaluation of social network dynamics. *Sociological Methodology*, 31(1), 361–395.

Snijders, T. A. B. (2002). Markov chain Monte Carlo estimation of exponential random graph models. *Journal of Social Structure*, 3(2), 1–40.

Snijders, T. A. B. (2005). Models for longitudinal network data. *Models and Methods in Social Network Analysis*, 1, 215–247.

Snijders, T. A. B. (2009). *Specification and estimation of exponential random graph models for social (and other) networks*.

Snijders, T. A. B., Pattison, P. E., Robins, G. L., & Handcock, M. S. (2006). New specifications for exponential random graph models. *Sociological Methodology*, 36(1), 99–153.

Soldatenko, A. (2011). *An overview of activities related to nanotechnologies in central and eastern Europe, Caucasus and central Asia*. Retrieved from <http://www.unitar.org/cwm/sites/unitar.org.cwm/files/AN>

Solomonoff, R., & Rapoport, A. (1951). Connectivity of random nets. *Bulletin of Mathematical Biology*, 13(2), 107–117.

Srinivas, S., Kosonen, K., Viljamaa, K., & Nummi, J. (2008). J., & Varieties of Innovation and Welfare Regimes: The Leap from R&to the Development of City-regions. *European Planning Studies*, 16(9 SRC-GoogleScholar FG-0), 1267–1291.

Stahl, B. (2011). What Does the Future Hold? A Critical View of Emerging Information and Communication Technologies and Their Social Consequences. In *IFIP Advances in Information and Communication*

*Technology* (Vol. 356, pp. 59–76). [https://doi.org/10.1007/978-3-642-21364-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-21364-9_5)

StatNano. (2017). *STATNANO Databases*. Retrieved from <http://statnano.com>

Stevens, V., & Verhoest, K. (2016). A Next Step in Collaborative Policy Innovation Research: Analysing Interactions using Exponential Random Graph Modelling. *The Innovation Journal*, 21(2), 1.

Strauss, D., & Ikeda, M. (1990). Pseudolikelihood estimation for social networks. *Journal of the American Statistical Association*, 85(409), 204–212.

Suominen, A., & Newman, N. C. (2017). A critical evaluation of the technological emergence concept. *Proceedings of PICMET'17: Technology Management for Interconnected World*.

Suominen, A., Peng, H., & Ranaei, S. (2019). Examining the dynamics of an emerging research network using the case of triboelectric nanogenerators. *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 820–830. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.10.008>

Team, R. C. (2013). *R: A language and environment for statistical computing*.

Timothy, F. B., & Manuel, T. (1995). *General Purpose Technologies: Engines of Growth?* *Journal of Econometrics*, 65(1), 83–108.

Tomczyk, M. (2014). *NanoInnovation: What Every Manager Needs to Know*. Retrieved from <https://books.google.pt/books?id=xtGRBQAAQBAJ>

Tratado de Lisboa. (2007). Tratado de Lisboa que altera o Tratado da União Europeia e o Tratado que institui a Comunidade Europeia. *Jornal Oficial Da União Europeia, Dezembro, 17*.

*Tratado que estabelece a União Europeia (versão consolidada de 2002)*. (2002). Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:12002E/TXT>

Tuncel, A. P. D. C. O. (2015). Neo-Schumpeterian Long Wave Theory and Nanotechnology: Assessing the Future of Manufacturing Industry. *Journal of Economics and Development Studies*, 3(1), 57–81. <https://doi.org/10.15640/jeds.v3n1a5>

UNSPECIFIED. (1992). *SEC (92) 675 final: Evaluation of the second framework programme for research and technological development. Article 5 of Council Decision 90/211/Euratom, EEC*.

Valente, T. W. (2005). Network models and methods for studying the diffusion of innovations. *Models and Methods in Social Network Analysis*, 28, 98.

van der Pol, J. (2016). *The modelling of networks using Exponential Random Graph Models: an introduction*. Groupe de Recherche en Economie Théorique et Appliquée.

Wagner, C. S., Cave, J., Tesch, T., Allee, V., Thomson, R., Leydesdorff, L., & Botterman, M. (2005). ERAnets: Evaluation of Networks of Collaboration between Participants in IST Research and their Evolution to Collaborations in the European Research Area (ERA). RAND Europe. *Report to EC DG INFSO*.

Wang, P. (2013). Exponential random graph model extensions: Models for multiple networks and bipartite networks. *Exponential Random Graph Models for Social Networks: Theory, Methods, and Applications*, 115–129.

Warner, W. L., & Lunt, P. S. (1941). *The social life of a modern community*.

Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications* (Vol. 8). Cambridge university press.

- Wasserman, S., & Pattison, P. (1996). Logit models and logistic regressions for social networks: I. An introduction to Markov graphs and p. *Psychometrika*, 61(3), 401–425.
- Wasserman, S., & Robins, G. (2005). An introduction to random graphs, dependence graphs, and p\*. *Models and Methods in Social Network Analysis*, 27, 148–161.
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *Nature*, 393(6684), 440–442.
- Werle, R. (2005). Institutional analysis of technical innovation. *Institutionelle Analyse Technischer Innovation* 386, 57(2), 308–332.
- Werle, R., In, J., Bauer, J. M., & Bauer, A. (2012). Institutions and Systems: Analysing Technical Innovation Process from an institutional Perspective. *Lang V Schneider Eds Innovation Policy and Governance in HighTech Industries The Complexity of Coordination Springer*.
- Wry, T., Greenwood, R., Jennings, P. D., & Lounsbury, M. (2010). Institutional sources of technological knowledge: a community perspective on nanotechnology emergence. *Research in the Sociology of Organizations*, 29, 149–176.
- Zhang, L. (2009). Lock-in strategy in network industries: A network effect perspective. *Service Systems and Service Management, 2009. ICSSSM'09. 6th International Conference On*, 410–414. IEEE.
- Zhou, N., & Delios, A. (2012). Diversification and diffusion: A social networks and institutional perspective. *Asia Pacific Journal of Management*, 29(3), 773–798. <https://doi.org/10.1007/s10490-010-9242-4>

## ANEXOS

**ANEXO A – QUADRO RESUMO DAS COMUNICAÇÕES E POLÍTICAS PÚBLICAS EUROPEIAS PARA A NANOTECNOLOGIA**

Instituição	Documento	Principais conclusões
Comissão Europeia	“Towards a European strategy for nanotechnology” COM(2004)338	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar o investimento e reforçar a coordenação na I&amp;D.</li> <li>• Desenvolver “polos de excelência” competitivos.</li> <li>• Promover uma educação interdisciplinar e formação para os recursos humanos.</li> <li>• Promover a transferência de tecnologia e inovação.</li> <li>• Integrar na I&amp;D as preocupações sociais e impactos na saúde, segurança e ambiente.</li> </ul>
	“Action Plan 2005-2009” COM(2006)243	<p>No âmbito da “INVESTIGAÇÃO, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO: A EUROPA TEM NECESSIDADE DE CONHECIMENTOS”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reforçar a I&amp;D em N&amp;N no 7º PQ.</li> <li>• Programas específicos de apoio investigação em nanoelectrónica no âmbito da prioridade “Tecnologias da Informação e das Comunicações” do 7º PQ</li> <li>• apoio à I&amp;D em colaboração relativa ao potencial impacto das N&amp;N em áreas da saúde humana e ambiente.</li> </ul> <p>No âmbito das “INFRAESTRUTURA E PÓLOS DE EXCELÊNCIA EUROPEUS”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboração de um mapa das infraestruturas europeias existentes no domínio das N&amp;N, com intuito de reforçar a colaboração entre PME e a I&amp;D académica.</li> <li>• Apoio à criação de redes de excelência “distribuídas” com objetivo de apoiar a ligação em rede e a integração transnacionais dos recursos entre as universidades, os organismos de I&amp;D e a indústria.</li> </ul> <p>No âmbito dos “RECURSOS HUMANOS INTERDISCIPLINARES: A EUROPA NECESSITA DE CRIATIVIDADE”</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoio à difusão das melhores práticas de formação em N&amp;N e acções específicas “Marie Curie” que incentivem programas transnacionais a nível de doutoramento.</li> </ul> <p>No âmbito da “INOVAÇÃO INDUSTRIAL: DO CONHECIMENTO AO MERCADO”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Promover a exploração industrial da I&amp;D no domínio das N&amp;N, apoiando a participação industrial em projetos colaborativos de I&amp;D da EU.</li> <li>• Apoio à I&amp;D de apoio a normas e metrologia (i.e I&amp;D pré-normativa) em consonância com os órgãos</li> </ul>

		<p>européus de normalização (e.g Comité Europeu de Normalização).</p> <p>No âmbito da “INTEGRAÇÃO DA DIMENSÃO SOCIETAL: RESPONDER ÀS EXPECTATIVAS E PREOCUPAÇÕES”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Assegurar uma I&amp;D responsável, promovendo as melhores práticas éticas na <i>governance</i> das N&amp;N.</li> <li>• Incumbir o Grupo Europeu de Ética para as Ciências e as Novas Tecnologias efetuar uma análise ética da nanomedicina.</li> </ul> <p>No âmbito da “SAÚDE PÚBLICA, SEGURANÇA E PROTECÇÃO DO CONSUMIDOR E DO AMBIENTE”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar os principais riscos associados à utilização dos nanomateriais (Comité Científico dos Riscos para a Saúde Emergentes e Recentemente Identificados).</li> <li>• Promover a segurança e mitigar a exposição dos trabalhadores, dos consumidores e do ambiente aos nanomateriais.</li> </ul> <p>No âmbito da “COOPERAÇÃO INTERNACIONAL”</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Promoção do dialogo internacional para as boas práticas e o desenvolvimento responsável das N&amp;N.</li> <li>• Partilha livre de um acervo europeu de publicações científicas e técnicas, bem como dados toxicológicos, ecotoxicológicos e epidemiológicos.</li> </ul> <p>No âmbito da “IMPLEMENTAÇÃO DE UMA ESTRATÉGIA COERENTE E COM VISIBILIDADE A NÍVEL EUROPEU”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• “Acompanhamento e supervisão da implementação do presente plano de ação, da sua conformidade e coerência com as políticas da Comissão”</li> </ul>
	<p>“1<sup>st</sup> Implementation Report 2005-2007” COM(2007)505</p>	<p>No âmbito da “INVESTIGAÇÃO, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO: A EUROPA TEM NECESSIDADE DE CONHECIMENTOS”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para o período de 2004-2006 a Europa liderou o investimento publico com quase 1,4 mil milhões de euros distribuídos por 550 projetos em N&amp;N. Contudo em termos privados a Europa é travada pelos EUA e o Japão.</li> <li>• Foi reforçada a investigação dos potenciais impactos das N&amp;N na área da saúde e no ambiente com</li> </ul>

		<p>25 milhões de euros de investimento específico no 5º e 6º PQ.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram criadas diversas Plataformas Tecnológicas Europeias (ETP) na área da nanoelectrónica (e.g ENIAC), nanomedicina, química sustentável, nanofotónica, nanobiofotónica, materiais e tecnologias avançadas.</li> <li>• Enquadrados no 6ºPQ, foram desenvolvidos vários programas nacionais de I&amp;D coordenação no âmbito do regime ERA-NET (e.g NanoSci-ERA, MNT ERA-Net, MATERA).</li> <li>• Cooperação institucional no Fórum Europeu das Nanociências com a participação da CE, COST, ESF, STOA e Nanoscience Europe.</li> </ul> <p>No âmbito das “INFRAESTRUTURA E PÓLOS DE EXCELÊNCIA EUROPEUS”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoio ao desenvolvimento de infraestruturas atingiu os 40 milhões de euros durante a vigência do 6º PQ.</li> <li>• Foram identificados no Fórum Europeu de Estratégias para Infra-estruturas de Investigação (ESFRI) cerca de 35 projetos estratégicos no espaço europeu.</li> <li>• Criação do projeto piloto da Infra-Estrutura Pan-Europeia de Nanoestruturas e Nanoelectrónica (PRINS).</li> <li>• A promoção das “redes de excelência” levou à criação de novas infraestruturas europeias como é exemplo a rede <i>Nanoquanta</i> e <i>Nano2Life</i>.</li> </ul> <p>No âmbito dos “RECURSOS HUMANOS INTERDISCIPLINARES: A EUROPA NECESSITA DE CRIATIVIDADE”</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cooperação inter-governativa europeia com os programas educativos promovidos pela DG Educação e Cultura e de mobilidade e formação de investigadores pela DG Investigação.</li> <li>• As acções “Marie Curie” para as N&amp;N atingiram os 161 milhões de euros no 6º PQ.</li> <li>• No âmbito do Programa “Erasmus Mundus” foram desenvolvidos diversos mestrados especializados nas N&amp;N.</li> <li>• “O papel das mulheres nas N&amp;N constitui o elemento central de um projeto específico do 6º PQ”</li> </ul> <p>No âmbito da “INOVAÇÃO INDUSTRIAL: DO CONHECIMENTO AO MERCADO”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Os projetos relacionados com N&amp;N no âmbito do 6ºPQ, passou de 18% durante 2003-2004 para 37% em 2006.</li> <li>• Foram desenvolvidos roteiros estratégicos para as N&amp;N com ampla difusão na indústria europeia (e.g</li> </ul>
--	--	--

		<p><i>NanoRoadSME e NanoRoadMap</i>) com impactos significativos nas ETPs (e.g ARTEMIS, ENIAC, EPoSS, FTC, <i>ManuFuture</i>, <i>NanoMedicine</i>, e <i>SusChem</i>).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• “A Comissão atribuiu igualmente mandatos aos organismos de normalização europeus (CEN, CENELEC e ETSI) para a realização de ações”.</li> <li>• Apoio à I&amp;D pré-normativa com os projetos do 6ºPQ, <i>Nanostrand</i> e <i>Nanotransport</i>.</li> <li>• Nos dois primeiros anos do 6ºPQ o número de patentes duplicou face ao Programa-quadro anterior.</li> </ul> <p>No âmbito da “INTEGRAÇÃO DA DIMENSÃO SOCIETAL: RESPONDER ÀS EXPECTATIVAS E PREOCUPAÇÕES”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A CE elaborou diversos documentos nas várias línguas europeias, em particular o “Communicating Science, a Survival Kit for Scientists”.</li> <li>• No âmbito do 6ºPQ foram realizados estudos dos impactos socioeconómicos e éticos das N&amp;N como o “O futuro das nanotecnologias: precisamos de conversar” e o “<i>Nanometer</i>” (Nanologue). O projecto NanoDialogue promoveu o dialogo social sobre as N&amp;N pela organização de várias exposições em 8 países europeus.</li> <li>• “Foram analisadas potenciais questões éticas em todos os projetos I&amp;D considerados no âmbito do 6.º PQ, sendo efetuados "exames éticos" quando adequado”</li> </ul> <p>No âmbito da “SAÚDE PÚBLICA, SEGURANÇA E PROTECÇÃO DO CONSUMIDOR E DO AMBIENTE”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram revistos os quadros legais europeus para fazer face aos riscos e perigos da utilização dos nanomateriais e nano produtos.</li> <li>• O Comité Científico dos Riscos para a Saúde Emergentes e Recentemente Identificados (SCENIHR) emitiu um parecer que aborda a dificuldade de se acautelar todos os riscos e metodologias inerentes à atividade das N&amp;N.</li> <li>• O Comité Científico dos Produtos de Consumo (CCPC) emitiu um parecer no qual recomenda a revisão de segurança dos nanomateriais utilizados em protetores solares.</li> <li>• No âmbito das ETPs, foram realizados diversos documentos, sobre a química sustentável (<i>SusChem</i>), toxicidade das nanopartículas, segurança ambiental e no local de trabalho (“Nanosafety Hub”).</li> </ul> <p>No âmbito da “COOPERAÇÃO INTERNACIONAL”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A CE tem desenvolvido esforços de cooperação internacional para a I&amp;D pré-normativa e de</li> </ul>
--	--	--

		<p>inclusão, como é exemplo a Iniciativa “As nanotecnologias e os pobres: oportunidades e riscos” do Instituto Meridian.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação de grupos de trabalho para agenciamento de normas internacionais para as N&amp;N (e.g CEN/TC 352 e ISO/TC 229, Grupo de Trabalho da OCDE sobre Nanomateriais Fabricados, Grupo de Trabalho do Comité da Política Científica e Tecnológica da OCDE).</li> </ul> <p>No âmbito da “IMPLEMENTAÇÃO DE UMA ESTRATÉGIA COERENTE E COM VISIBILIDADE A NÍVEL EUROPEU”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram realizadas diversas ações de partilha e discussão de assuntos relativos às N&amp;N durante as várias Presidências Europeias (e.g as conferencias <i>EuroNanoForum</i> no Reino Unido, na Áustria e na Finlândia).</li> <li>• “Foi criado um grupo interserviços da CE específico para tratar todos os aspetos do trabalho descrito no presente relatório”.</li> </ul>
	<p>“2<sup>nd</sup> Implementation Report 2007-2009” COM(2009)607 final</p>	<p>No âmbito da “INVESTIGAÇÃO, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO: A EUROPA TEM NECESSIDADE DE CONHECIMENTOS”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• O apoio à nanotecnologia entre os anos 2007 e 2008 foi cerca de 1,1 mil milhões de euros pela via do 7ºPQ, enquanto os estados-membros investiram um montante superior a 2,5 mil milhões de euros.</li> <li>• A participação industrial nos projetos do 7ºPQ atingiu os 40%. E a CE também tem reforçado a sua participação com o Centro Comum de Investigação (CCI). Em geral, os projetos financiados pela EU visam os desenvolvimentos na área da nanoelectrónica, nanomedicina, sustentabilidade industrial, energia e ambiente (p.e. despoluição da água).</li> <li>• Foi criado o “Grupo Consultivo sobre Nanotecnologias Industriais com vista a proporcionar maior assistência na definição das prioridades de investigação”.</li> <li>• No que respeita à gestão e avaliação dos riscos da N&amp;N, foram investidos mais de 50 mil milhões de euros, no período de 2007 a 2008, dos quais 5% deste investimento recaiu sobre projetos sobre as questões éticas, jurídicas e sociais.</li> </ul> <p>No âmbito das “INFRAESTRUTURA E PÓLOS DE EXCELÊNCIA EUROPEUS”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• O apoio às infraestruturas europeias é revelador das políticas estratégicas da Comissão para o setor das N&amp;N. Das infraestruturas virtuais como a Instalação Europeia de Espectroscopia Teórica (European Theoretical Spectroscopy Facility - ETSF) aos PRINS, como o Laboratório Ibérico Internacional de</li> </ul>

		<p>Nanotecnologias em Braga, ou os “centros de integração de nanotecnologias” em Grenoble, Saclay e Toulouse.</p> <p>No âmbito dos “RECURSOS HUMANOS INTERDISCIPLINARES: A EUROPA NECESSITA DE CRIATIVIDADE”</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• As ações “Mari Curie” continuaram a ser uma aposta da política de formação em N&amp;N da CE, com um total de 125 milhões de euros para o biénio 2007-2008, complementado pelas Redes de Excelencia no âmbito do 6ºPQ e pelas ETPs.</li> <li>• Outro apoio à formação, surgiu por parte do Conselho Europeu de Investigação (CEI), com um investimento de 80 milhões de euros, sob o Programa “Ideias”.</li> <li>• “O Instituto Europeu de Inovação e Tecnologia (EIT) pode também impulsionar desenvolvimentos em termos de recursos humanos e de inovação”</li> </ul> <p>No âmbito da “INOVAÇÃO INDUSTRIAL: DO CONHECIMENTO AO MERCADO”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Um foco da CE no financiamento nos projetos de aplicações em nanotecnologia no âmbito do 7ºPQ.</li> <li>• Apoio continuo na regulamentação e normalização do setor (e.g ISSO e CEN). E a criação do ObservatoryNANO, com o objetivo de identificar as oportunidades e riscos das N&amp;N em divrsos setores tecnológicos, com enfase nas PMEs.</li> </ul> <p>No âmbito da “INTEGRAÇÃO DA DIMENSÃO SOCIETAL: RESPONDER ÀS EXPECTATIVAS E PREOCUPAÇÕES”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A adoção, em 2008, por parte da CE, da Recomendação do Conselho, “Código de Conduta para uma investigação responsável no domínio das nanociências e das nanotecnologias”.</li> <li>• Proposta de um parecer do Grupo Europeu de Ética para as Ciências e as Novas Tecnologias, sobr a convergência das nanotecnologias, biotecnologias, TICs e ciências cognitivas.</li> <li>• Reforço dos projetos do 7ºPQ com a introdução de análises de risco, ética e sociais.</li> </ul> <p>No âmbito da “SAÚDE PÚBLICA, SEGURANÇA E PROTECÇÃO DO CONSUMIDOR E DO AMBIENTE”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adoção da Comunicação, “Aspetos regulamentares dos nanomateriais”, tal como assumido no Plano de Ação.</li> <li>• Após análise da Comunicação, o Parlamento Europeu, pediu a introdução de disposições</li> </ul>
--	--	--

		<p>regulamentares específicas relacionadas com os nanomateriais em cosméticos, novos alimentos e aditivos alimentares.</p> <p>No âmbito da “COOPERAÇÃO INTERNACIONAL”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reforço na cooperação internacional para a regulamentação do setor (e.g Grupo de Trabalho da OCDE sobre Nanotecnologias, ISSO ou CEN)</li> </ul> <p>No âmbito da “IMPLEMENTAÇÃO DE UMA ESTRATÉGIA COERENTE E COM VISIBILIDADE A NÍVEL EUROPEU”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Além do Grupo Interserviços da Comissão, os esforços de coordenação interna foi complementado pelo Grupo de Alto Nível sobre Nanotecnologias, que reúne representantes de Estados-Membros e Estados associados e da CE.</li> </ul>
	<p>“Regulatory Aspects of Nanomaterials” COM(2008)366, SEC(2008) 2036</p>	<p>A CE com esta Comunicação pretende rever a legislação aplicada aos nanomateriais em três áreas fundamentais e implementadas pelos, EU Scientific Committee on Emerging and Newly-Identified Health Risks (SCENIHR) e o Scientific Committee for Consumer Products (SCCP):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nos químicos no âmbito do REACH, para assegurar as melhores práticas junto dos fabricantes, importadores e consumidores, com a supervisão quando necessária da European Chemicals Agency. Ainda sob as orientações do REACH, os fabricantes são obrigados a informar os consumidores sobre os produtos que na sua constituição possuam nanomateriais (e.g rotulagem)</li> <li>• Na proteção dos trabalhadores, com o enfoque Diretiva Europeia 89/391/EEC, em particular os artigos 11º e 12º, nos quais exige a consulta prévia aos trabalhadores sobre a introdução de novas tecnologias que afetem a sua saúde e segurança no trabalho, como os nanomateriais.</li> <li>• Na proteção ambiental, com a Diretiva do Conselho 2008/EC (IPPC), que previne a poluição industrial em milhares de instalações industriais e requer uma revisão para incluir o impacto das nanopartículas no ambiente. A mesma revisão aplica-se a diversas diretivas de impacto ambiental: Diretiva 2000/60/EC (para a água), a Diretiva 96/82 (controlo de acidentes com substâncias perigosas) e Diretiva 2006/12/EC (sobre o lixo).</li> </ul> <p>As orientações para a revisão da legislação sobre os nanomateriais tem como pressuposto o Princípio de Precaução<sup>73</sup>. E o conhecimento para a caracterização dos nanomateriais emergem dos diversos projetos do 6º e 7º PQ, das atividades da Joint Research Centre da Comissão, das várias agências europeias (e.g European</p>

<sup>73</sup> Princípio de Precaução

		Food Safety Authority; European Chemicals Agency; European Agency for Safety and Health at Work - OSHA) e do intercambio com os parceiros internacionais (e.g OCDE e ISO).
	“Code of Conduct for Responsible Nanoscience sand Nanotechnologies Research” C(2008)424	Este Código de Conduta é um complemento à legislação em vigor e providencia aos estados-membros, centros de investigação, investigadores e trabalhadores, e restantes <i>stakeholders</i> envolvidos em atividades de I&D em N&N um guia de melhores práticas para a segurança, ética e desenvolvimento socioeconómico e ambiental sustentável. O Código de Conduta, define ainda o que são nano-objetos e investigação científica ao nível nano (1-100nm), quem são os <i>stakeholders</i> do setor N&N e organizações da sociedade civil. Introduce ainda o Princípio da Precaução.
<b>Conselho Europeu</b>	“Council conclusions on European strategy for nanotechnology” 24 Set 2004	O Conselho Europeu reconhece a importância das nanotecnologias para a Europa e no âmbito da estratégia de Lisboa e criação do Espaço Europeu de Investigação, salienta a necessidade de integrar a investigação em setores económicos altamente competitivos como a nanotecnologia. “Acolhe com satisfação Comunicação da Comissão intitulada "Para uma Estratégia Europeia sobre Nanotecnologias" 2 e SUBSCREVE a principal conclusão dessa Comunicação, nomeadamente a necessidade de se desenvolver uma estratégia integrada e responsável”, constatando a importância da aplicação industrial do conhecimento científico em nanociências e nanotecnologias. Realça ainda o contributo decisivo dos Estados-membros para o alcance das metas dos “Objetivos de Lisboa”.
	“Council conclusions on 1st Implementation Report 2005-2007” 23 Nov 2007	O Conselho reconhece e reforça a importância da nanotecnologia para a competitividade europeia. Reconhece a necessidade da existência de centros interdisciplinares para a investigação das nanociências e recursos humanos altamente qualificados. E sublinha a importância de uma I&D segura, integrada e responsável num mercado único. Convida a Comissão Europeia continuar a monitorizar o desenvolvimento, segurança e governança das nanotecnologias.
<b>Parlamento Europeu</b>	“European Parliament Resolution on Action Plan 2005-2009” 28 Set 2006	O Parlamento Europeu (PE) reconhece a importância das nanociências e nanotecnologias no desenvolvimento socioeconómico das populações europeias. E identifica as Plataformas Tecnológicas, “Think Thanks” e os planos de ação como instrumentos para criar emprego e crescimento económico. Considera que a Europa necessita de infraestruturas europeias de I&D mas destaca o papel ponderante das políticas nacionais dos Estados-membros como a melhor forma da Europa se adaptar as oportunidades e mudanças do mercado. Para isso, instiga a Comissão Europeia e os Estados-membros a unirem esforços neste campo. O PE destaca a investigação na nanomedicina e áreas afins como uma prioridade europeia suportada pela “Nanomedicine European Technology Platform” e o 7º Programa-Quadro. Considera ainda que a mudança tecnológica deve ser acompanhada com medidas políticas que assegurem a entrada de produtos no mercado, políticas essas de regulação, competitividade e avaliação de risco que a Comissão Europeia e o Conselho Europeu devem agilizar. Salienta ainda a importância do “triângulo do Conhecimento” ( i.e educação, investigação e

		inovação) na construção do Espaço Único de Inovação.
<b>Comité Económico e Social Europeu</b>	“Opinion on European strategy for nanotechnology” 15 Dez 2004	O Comité Económico e Social Europeu (CESE) a par do Conselho Europeu, concorda na importância e potencial das nanociências e nanotecnologias para a Europa. E recomenda iniciativas estratégicas conjuntas, integradas e responsáveis ao nível europeu (e.g coordenação europeia de políticas, medidas, estruturas e redes). Estas estratégias devem compilar desenvolvimentos socioeconómicos para os europeus. A CESE, alerta para a importância de uma I&D segura, responsável e sustentável. Recomenda ainda para um reforço substancial na investigação fundamental e um plano de ação de alto nível político, bem programado e quantificado. Aconselha a Comissão Europeia liderar e transferir investigação de elevada qualidade para o mercado (e.g nanoeletrónica, nanobiotecnologia e nanomedicina) e a implementar de imediato o suporte de Propriedade Intelectual ao nível europeu para a investigação. Deixa ainda a recomendação de um diálogo científico bem fundamentado com o público.
	“Opinion on Action Plan 2005-2009” 20 Abr 2006	O Comité Económico e Social Europeu (CESE) defende que é essencial a Europa implementar um Plano de Ação N&N capaz de mobilizar a Comunidade europeia a nível nacional e regional nos princípios de boa governança das nanociências e nanotecnologias. O Plano de Ação N&D deve proporcionar o diálogo com o público, proteção das pessoas e meio ambiente, coordenação das várias políticas europeias, uma única voz ao nível internacional e cooperação com os países menos desenvolvidos, um quadro legal e regulatório para a investigação e inovação e uma programação temporal bem definida que inclua as perspetivas da Comissão Europeia e Estados-membros. A CESE encoraja a indústria europeia a aumentar os seus esforços de investimento e expansão na I&D em nanociências e nanotecnologia.

## ANEXO B - CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA ANÁLISE DE REDES

Conceitos	Descrição
Ator	O ator, por vezes referido como <b>vértice</b> ou nodo de uma rede, é uma entidade individual, empresarial ou coletiva de âmbito social, caracterizado por diversos atributos qualitativos e/ou quantitativos
Relações	As relações são as <b>ligações</b> que unem os atores entre si e representam interações, fluxos de informações ou bens, similaridades ou afiliações, relações sociais. As relações são referenciadas frequentemente por arestas, arcos, linhas ou laços. As relações podem ser unidirecionais (um só sentido) ou bidirecionais (dois sentidos opostos), podem também ser binária (i.e existe ou não ligação) ou possuir uma valorização quantitativa.
Atributos	Os atributos são as características únicas dos atores e relações. Os atributos são os elementos que identificam e tipificam os atores na rede em análise (e.g idade, país, empresa, ONG). Nas relações, os atributos consistem na valorização quantitativa ou qualitativa.
Díades	As díades são as ligações entre dois atores e considerada a unidade da análise das redes. O foco da análise das díades reside no fato da existência ou não de reciprocidade ou múltiplas relações entre o par de atores.
Tríades	As tríades são constituídas pelo subconjunto de três atores e são consideradas uma das análises mais relevantes na ARS. O foco da análise recai sobre a dinâmica evolutiva da ligação entre pares de atores para a junção de um terceiro elemento. As tríades podem ser transitivas (i.e. o ator $j$ “tem uma relação” com o ator $i$ , e o ator $i$ “tem uma relação” com o ator $k$ , então o ator $j$ também “terá uma relação” com o ator $k$ ) ou balanceadas (i.e. se os atores $j$ e $i$ “gostam” reciprocamente, então os atores $i$ e $j$ tem uma avaliação similar relativamente a um terceiro ator $k$ , e vice-versa).
Subgrupo	Subgrupo é um conjunto qualquer de atores e suas relações. Normalmente são conjuntos homogêneos (p.e. universidades).
Grupo	Um grupo é o conjunto finito de atores, que no âmbito conceitual, teórico ou empírico, a rede que formam, são propósito da análise quantitativa.
Grafo	Grafo é um conjunto de vértices conectados por ligações, formulado por um par de conjuntos $(V, E)$ , onde $V$ é o conjunto de vértices e $E$ o conjunto de ligações ou arestas.
Tipos de dados	A tipologia de dados para construção de uma rede assentam em duas formas: dados de “1-modo”, ou seja, dados que representam a ligação entre atores do mesmo tipo (e.g pessoas, organizações, ideias); dados de “2-modo”, que representam ligações de dois tipos ou classes de atores (e.g pessoas e eventos, pessoas e artigos).
Topologia	A forma da rede tem impactos significativos no fluxo da informação ou dos bens. A topologia de uma rede assenta em duas características importantes: a conectividade (i.e como é que dois atores diferentes partes da rede estão ligados); e a centralidade (i.e a dimensão da localização do ator na rede)
Tempo	O tempo é um elemento fundamental quando pretendemos avaliar a dinâmica da estrutura da rede. O tempo pode afetar a estrutura da rede em dois aspetos: na sua topologia (e.g entrada e saída de atores); e no fluxo (e.g a existência em dado momento de ligações ou não entre atores)
Rede de “2-modos”	É uma rede constituída por vértices de diferentes categorias (p.e., Pessoas e Eventos, Participantes e Projetos).

Fonte: Wasserman e Faust (1994)

ANEXO C – PRINCIPAIS MÉTRICAS UTILIZADAS EM ANÁLISE DE REDES SOCIAIS

Propriedades dos vértices (i.e estatística)	Descrição	Formulação
<p><b>Centralidade de grau (degree)</b></p>	<p>O grau de um <i>vertice</i> é o número de <i>vertices</i> seus adjacentes. Este valor pode ir desde 0 (zero) até ao máximo de g-1 (sendo g o total de <i>nodos</i> da rede). Para as redes bidirecionais, é o número de todas as ligações, nas redes unidirecionais, esta centralidade subdivide-se no numero de ligações que entram (<i>in-degree</i>) e nas que saem (<i>out-degree</i>). O grau médio da rede, representa a estatística resultante da média dos graus de todos os <i>vértices</i> (S. Wasserman &amp; Faust, 1994:100)</p>	<p>Perspetiva do vértice:</p> $C_d(v_i) = \frac{1}{N-1} d_i$ <p><math>v_i</math> – vértice i</p> <p>Perspetiva da Rede:</p> $C_d = \frac{\sum_{i=1}^g [C_d(v_i) - C_d(i)]}{[(N-1)(N-2)]}$ <p><math>C_d</math> – Centralidade da rede (L. C. Freeman, 1977)</p> <p><u>termo superior</u> – soma da diferença entre a centralidade do vértice e a centralidade máxima da rede.</p> <p><u>Termo inferior</u> – normalização.</p>
<p><b>Centralidade de Proximidade (closeness)</b></p>	<p>A proximidade é uma medida de distancia geodésica entre os <i>vertices</i> de uma rede. A medida consiste em calcular o quanto perto está um <i>vertice</i> dos outros numa rede. Um <i>nodo</i> é central se conseguir interagir rapidamente com os outros (Coulon, 2005; S. Wasserman &amp; Faust, 1994:101) ou seja, o número de passos necessários para ligar cada par de <i>vertices</i>.</p>	$C_c(v_i) = \frac{(N-1)}{\sum_{v_j \in G} d(v_i, v_j)}$ <p><u>termo superior</u> – normalização</p> <p><u>termos inferior</u> – distancia total aos outros vértices</p>
<p><b>Centralidade de mediação (Betweenness)</b></p>	<p><i>Betweenness</i> é uma medida de centralidade e consiste no pressuposto que a interação entre dois <i>vértices</i> adjacentes pode depender de um outro <i>vértices</i>, nomeadamente naqueles que se encontram no meio do caminho entre o par de <i>vértices</i>. por exemplo um <i>vertice</i> com poucas ligações poderá ter um papel de intermediário e ser muito central na rede. A “<i>betweenness</i>” mede a capacidade de um <i>vertice</i> participar como intermediário ou <i>gatekeeper</i>, com potencial controlo sobre os outros <i>vértices</i> (Coulon, 2005; S. Wasserman &amp; Faust, 1994:101).</p>	$C_B(v_i) = \frac{\sum_{j < k} \frac{g_{jk}(v_i)}{g_{jk}}}{\frac{(N-1)(N-2)}{2}}$ <p><u>termo superior</u> – fração de geodésicas que passam pelo vértice.</p> <p><u>termo inferior</u> – normalização (nº pares de vértices)</p>
<p><b>Diâmetro da Rede</b></p>	<p>O diâmetro de uma rede é a distancia mais longa entre um par de <i>vertices</i>. O diâmetro de uma rede pode situar entre, um mínimo de 1 (se a rede é</p>	

	completa) a um máximo de $g-1$ (a rede não está toda conectada). O diâmetro de uma rede é importante porque quantifica o quanto mais perto ou longe estão dois <i>vertices</i> (idem :112).	
<b>Densidade da Rede</b>	A densidade neste contexto mede o nível de conectividade da rede. A densidade é definida pelo número atual de <i>ligações</i> numa rede, expresso em proporção do número total de ligações. Este número pode variar entre 0 e 1. Se a densidade situa-se perto de 1 pode-se dizer que a rede é densa, o inverso, próximo do 0, é dispersa (Coulon, 2005; S. Wasserman & Faust, 1994:101).	<p>Grafos indiretos</p> $D_{nd} = \frac{2L}{g(g-1)}$ <p>Grafos diretos</p> $D_d = \frac{2L}{g(g-1)}$ <p><math>L</math> – número de ligações (arestas) presentes no grafo  <math>g</math> – número de vértices presentes no grafo</p>
<b>Centralidade do Vector Próprio</b> (eigenvector)	A centralidade de um vértice pelo abordagem do vetor próprio permite avaliar a centralidade não só pela sua posição, número de ligações aos seus vizinhos, como também pela qualidade dessas mesmas ligações, com o objetivo de uma perspetiva mais global do que local. Permite encontrar o mais central de todos os atores (Hanneman & Riddle, 2005).	$C_c(v_i) = \frac{1}{\lambda_1} \sum_j A_{ij} C_c(v_j)$ <p>Esta centralidade deve satisfazer <math>Ax = \lambda x</math>  <math>\lambda_1</math> – o valor próprio da matriz segundo termo – a soma das centralidades dos vértices vizinhos</p>

*A especificação do modelo de ERGM*

Se considerarmos  $G = (V, E)$  um grafo aleatório e definir  $Y_{ij} = Y_{ji}$  uma variável binária aleatória, que indica a presença ou ausência de uma ligação entre dois vértices  $i$  e  $j$  em  $V$ . A matriz  $\mathbb{Y} = [Y_{ij}]$  é a matriz adjacente para  $G$ <sup>74</sup>. Um modelo de grafo aleatório exponencial é um modelo específico, na forma matemática exponencial, para a distribuição conjunta dos elementos em  $\mathbb{Y}$  (Kolaczyk & Csárdi, 2014).

Wasserman e Pattison (1996), com base nos trabalhos de Frank e Strauss (1986) sobre as distribuições de grafos *Markov*, desenvolveram os modelos  $p^*$ , uma generalização da família de grafos aleatórios exponenciais. A probabilidade de distribuição dos ERGM pode ser definida por:

*Modelo de probabilidade ERGM ( $p^*$ )*

$$P_{\theta}(Y = y) = \frac{\exp\{\theta^t S(X)\}}{C(\theta)}$$

onde,

- (i)  $S(X)$  são as estatísticas do dígrafo de covariáveis observáveis<sup>75</sup>;
- (ii)  $\theta$  é o vetor dos parâmetros estatísticos;
- (iii)  $C(\theta)$  é o fator de normalização para assegurar que a probabilidade máxima é 1 (i.e., soma de todos os parâmetros).

A família de grafos aleatórios exponenciais, ERGM, pode surgir em diferentes variações e extensões. É possível analisar redes direcionadas, ou seja, grafos nos quais as ligações entre vértices apresentam um sentido ou grafos não direcionados. É possível, além do tipo de conectividade (e.g. tríades) também albergar outras características dos vértices, como atributos ou funções na rede<sup>76</sup>.

<sup>74</sup> A matriz adjacente é uma matriz que representa a ausência ou presença de ligações entre um par de vértices com valores de “0” e “1” respectivamente. Neste caso, esta é a matriz aleatória adjacente do grafo ou rede  $G$ .

<sup>75</sup> O termo  $S(X)$  no modelo representa as estatísticas da rede, ou seja, configurações da rede. Por exemplo arestas, ligações entre grupos, duas estrelas, três ciclos.

<sup>76</sup> Neste caso representado no modelo por covariâncias.

Na prática o termo  $S(X)$ , contém em si a estrutura dos grafos que representam a dependência de existência de ligações dentro da rede. As estatísticas mais utilizadas neste termo são a reciprocidade (díades) e a transitividade (tríades), contudo o modelo suporta ainda níveis de configurações mais complexas em estrela (Snijders et al., 2006). A figura 3.3, exemplifica o modelo ERGM e as estatísticas que o comportam.

*Tipos de estatísticas e parâmetros do modelo ERGM*

$$P_{\theta}(Y = y) = \frac{1}{C(\theta)} \exp\left\{ \theta \left( \bullet \text{---} \bullet \right) + \sigma_2 \left( \begin{array}{c} \bullet \\ \diagup \quad \diagdown \\ \bullet \text{---} \bullet \end{array} \right) - \sigma_3 \left( \begin{array}{c} \bullet \\ \diagup \quad \diagdown \\ \bullet \text{---} \bullet \\ \diagdown \quad \diagup \\ \bullet \end{array} \right) + \tau \left( \begin{array}{c} \bullet \\ \diagup \quad \diagdown \\ \bullet \text{---} \bullet \\ \diagdown \quad \diagup \\ \bullet \end{array} \right) \right\}$$

A figura anterior é uma expressão que pretende especificar os modelos ERGM. Pode-se identificar no modelo determinadas similaridades com os modelos de regressão e os parâmetros estatísticos são um exemplo desse fato. O parâmetro  $\theta$  está associado ao número total de ligações (díades), o parâmetro  $\sigma$  às configurações em estrela e representa a propensão para os vértices terem ligações múltiplas com outros vértices e o parâmetro  $\tau$  corresponde às configurações triangulares (tríades) que representam o nível de *clustering*<sup>77</sup>.

Os modelos ERGM podem modelar redes com grafos direcionais ou não direcionais e podem também comportar informações adicionais como os atributos inerentes aos membros da rede (p.e. gênero, idade, tipo de instituição). Assim, dada uma realização de  $x$  num vetor aleatório  $X$  nos vértices na rede  $G$ , pode-se especificar o modelo exponencial na forma da probabilidade condicionada  $P_r(X = x | Y = y)$ , envolvendo também estatísticas e parâmetros adicionais (Kolaczyk, 2009):

*Modelo probabilidade condicionada (ERGM com atributos)*

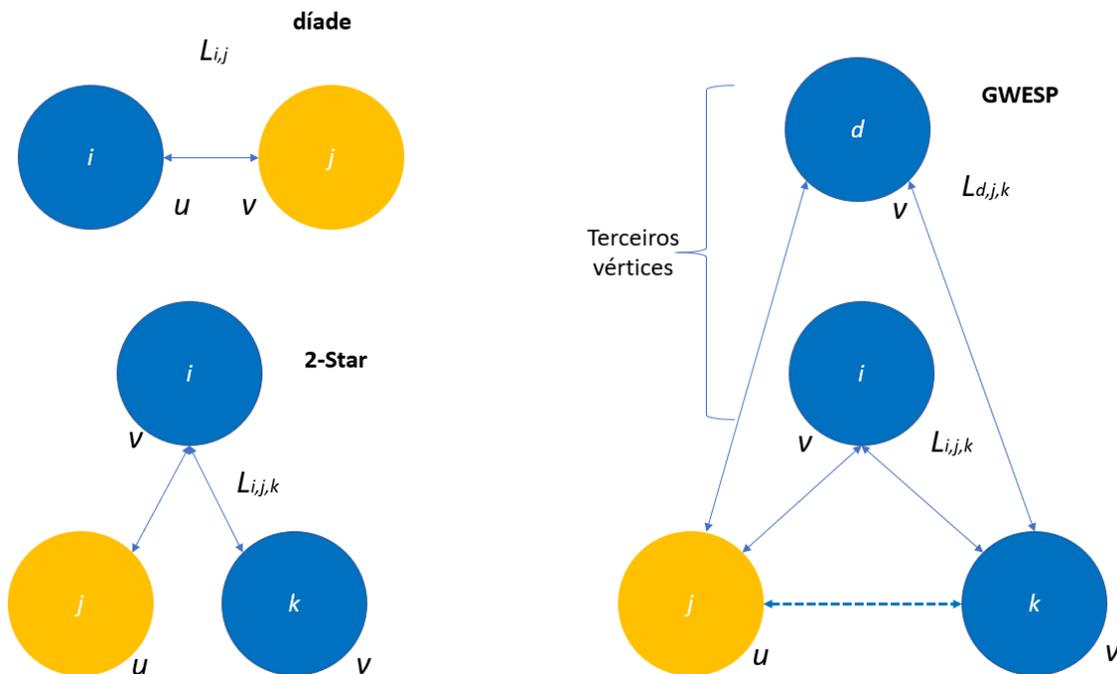
$$P_{\theta, \Lambda}(X = x | Y = y) = \frac{1}{C(\theta, \Lambda)} \exp \sum \left\{ \theta' S(X) + \theta_{\Lambda} Z_{\Lambda}(x, y) \right\}$$

<sup>77</sup> Variando os parâmetros é possível obter diversas redes aleatórias que por sua vez permitem realizar ajustamentos mais próximos das redes reais.

onde  $\theta_\Lambda$  é o vetor de parâmetros que corresponde aos efeitos dos atributos dos vértices e  $Z_\Lambda(x, y)$  são as estatísticas suficientes para as interações entre a rede e os atributos dos vértices. Em suma, esta equação introduz no modelo inicial, um conjunto de estatísticas a estimar, referentes aos atributos dos vértices.

Baseado nos modelos de dependência de Markov, é ainda possível introduzir na especificação do modelo ERGM, configurações estruturais em estrela como  $k$ -stars ou configurações que permitem averiguar as ligações geometricamente ponderadas de díades com terceiros vértices como o GWESP (geometrically weighted edgewise shared partner) (Koskinen & Daraganova, 2013; Skvoretz & Faust, 1999; Wang, 2013)

*Formações alternativas em estrela (k-star) e triangulares*



Fonte: Adaptado de Koskinen & Daraganova (2013). Cores representam os atributos  $u$  e  $v$ , dos vértices  $i, j, k, d$ .

Ao variar os parâmetros do modelo é possível obter diversas redes aleatórias, que por sua vez, permitem realizar estimativas mais próximas das redes reais. Este fato sugere que os grafos Markov presentes no ERGM contribuem para um bom modelo estatístico e para modelar as redes sociais observadas (Snijders *et al.*, 2006).

## A estimação do modelo de ERGM

A estimação de um modelo compreende a identificação dos parâmetros que maximizem verossimilhança de um grafo. Na presença de uma rede complexa (i.e. grafo observável) é necessário produzir uma série de outras redes (p.e. grafos aleatórios) com a mesma distribuição, com o objetivo de estimar a rede observável. Em muitos casos a estimação dos parâmetros dos modelos ERGM pode ser feita por pseudo-verossimilhança<sup>78</sup> (Strauss & Ikeda, 1990), contudo a complexidade das redes observáveis exigiram novos algoritmos para a estimação dos parâmetros com base na máxima-verossimilhança<sup>79</sup> (Snijders et al., 2006).

Estudos recentes demonstram que a estimação dos modelos ERGM, por via dos algoritmos de Monte Carlo, baseados em Cadeias de Markov (MCMC), providenciam bons resultados nos estimadores de máxima-verossimilhança (MLEs)<sup>80</sup> (Anderson, Wasserman, & Crouch, 1999; Handcock, Robins, Snijders, Moody, & Besag, 2003; Snijders, 2002).

A estimação MCMC-MLEs consiste em produzir um elevado número de amostras Monte Carlo (MC) de grafos aleatórios com o objetivo de aproximar os parâmetros obtidos aos parâmetros da máxima-verossimilhança. Geyer e Thompson (1992) recomendam várias interações com o algoritmo até encontrar o melhor estimador. Hunter *et al* (2008) afirma que é muito difícil obter o estimador MLE numa só interação com o algoritmo MCMC-MLEs. Em algumas computações<sup>81</sup>, o número de amostras MC podem atingir as 10000 com 3 interações (Morris et al., 2008).

A estimação de um modelo ERGM faz parte de um processo de inferência que pretende encontrar os melhores parâmetros que caracterizem a amostra inicial. Este processo pode ser realizado por diversas metodologias de estimação com as suas vantagens e desvantagens (Okabayashi, 2011). No âmbito da inovação pode-se encontrar alguns exemplos de utilização do MCMC-MLE.

---

<sup>78</sup> O método de máxima pseudo-verossimilhança encontra os valores dos parâmetros que maximizam a função pseudo-verossimilhança para um conjunto de dados observáveis e que podem ser desenvolvidos a partir da densidade da matriz de adjacência  $Y_{ij}$  (i.e. díades) condicionada a toda a rede.

<sup>79</sup> Quando apresentada uma amostra necessitamos de estimar os seus parâmetros com o objetivo de a caracterizar e inferir os resultados para uma população. A pseudo-verossimilhança consiste na inferência de uma distribuição na qual só são estimados alguns parâmetros e não todos. No método de máxima-verossimilhança considera-se quase todos os parâmetros possíveis de uma distribuição que se aproxime da distribuição da amostra.

<sup>80</sup> Do inglês Maximum Likelihood Estimators. No caso do modelo ERGM são os parâmetros  $\theta$ .

<sup>81</sup> Exemplo a rotina *statnet* na linguagem de programação R. Quanto mais interações forem executadas, mais os parâmetros se aproximam da máxima verossimilhança.

Brennecke e Rank (2017) utilizaram a estimação MCMC-MLE para modelar as redes de colaboração de inventores entre empresas alemãs e verificaram que as características estruturais do *stock* de conhecimento, podem influenciar as interações interpessoais entre os inventores, afetando assim a difusão de conhecimento nas redes de inovação e limitando as possibilidades de recombinação organizacional. Em outro estudo (Hermans et al., 2017) de entre diversos *stakeholders* das redes de inovação no setor agrícola africano, os investigadores utilizaram 100.000 amostras para estimar MCMC-MLE.

### *A qualidade de ajustamento do modelo de ERGM (GOF)*

A estimação do modelo é um processo importante na análise das redes sociais. Sem este passo não é possível identificar ou caracterizar os dados observados. Mas nem sempre este processo estatístico de estimação consegue alcançar os seus objetivos, o ajustamento do modelo aos dados observáveis<sup>82</sup>. Snijders e Handcock (2003) identificam que alguns modelos não se ajustam a determinados conjuntos de dados, em particular, os modelos Markov, quando os parâmetros a estimar têm uma distribuição estatística binomial.

A degeneração dos modelos, como se designa, ocorre quando se pretende estimar os parâmetros dos modelos ERGM e são geridos grafos, nos quais os estimadores de máxima verosimilhança não existem. Por exemplo, em grafos vazios, completos ou a combinação de ambos. Estas dificuldades ocorrem essencialmente em redes observáveis que se aproximem destas situações extremas (Robins, 2011).

Para solucionar o problema da degeneração dos grafos, Robin, Pattison e Woolcock (2005) sugerem a simulação de novas configurações a partir do modelo para obter uma série de estimadores dos grafos (ver figura 4.3). A qualidade de ajustamento consiste então em procurar o conjunto de melhores estimadores para qualificar ou caracterizar os dados observáveis (i.e grafo ou rede inicial). Se o modelo ajustado resultante da simulação for o suficiente para explicar os dados observados, é expectável que os estimadores associados às características da estrutura do grafo, não sejam extremos na função distribuição do grafo.

Por exemplo, a partir dos resultados da simulação, os estimadores associados às díades e tríades podem ser suficientes para explicar a menor distância média ou grau de distribuição

---

<sup>82</sup> Qualidade de ajustamento ou “GOF” do inglês *Goodness of Fit*

observados. Estudos empíricos (Hunter, Goodreau, et al., 2008) confirmam que fatores exógenos aos vértices e fatores endógenos das redes têm um papel importante no processo generativo na formação das redes.

## Referências Bibliográficas do Anexo:

- Anderson, C. J., Wasserman, S., & Crouch, B. (1999). A  $p^*$  primer: Logit models for social networks. *Social Networks*, 21(1), 37–66.
- Brennecke, J., & Rank, O. (2017). The firm's knowledge network and the transfer of advice among corporate inventors—A multilevel network study. *Research Policy*, 46(4), 768–783. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.02.002>
- Frank, O., & Strauss, D. (1986). Markov graphs. *Journal of the American Statistical Association*, 81(395), 832–842.
- Geyer, C. J., & Thompson, E. A. (1992). Constrained Monte Carlo maximum likelihood for dependent data. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 657–699.
- Handcock, M. S., Robins, G., Snijders, T., Moody, J., & Besag, J. (2003). Assessing degeneracy in statistical models of social networks. Citeseer.
- Hermans, F., Sartas, M., Van Schagen, B., van Asten, P., & Schut, M. (2017). Social network analysis of multi-stakeholder platforms in agricultural research for development: Opportunities and constraints for innovation and scaling. *PloS One*, 12(2), e0169634.
- Hunter, D. R., Goodreau, S. M., & Handcock, M. S. (2008). Goodness of fit of social network models. *Journal of the American Statistical Association*, 103(481), 248–258.
- Kolaczyk, E. D. (2009). *Statistical Analysis of Network Data: Methods and Models*. In Springer Series in Statistics. Retrieved from <https://books.google.pt/books?id=Q-GNLsq7QwC>
- Kolaczyk, E. D., & Csárdi, G. (2014). *Statistical analysis of network data with R (Vol. 65)*. Springer.
- Koskinen, J., & Daraganova, G. (2013). Exponential Random Graph models Fundamentals. In *Exponential random graph models for social networks: Theory, methods, and applications*. Cambridge University Press.
- Morris, M., Handcock, M. S., & Hunter, D. R. (2008). Specification of exponential-family random graph models: terms and computational aspects. *Journal of Statistical Software*, 24(4), 1548.
- Okabayashi, S. (2011). *Parameter estimation in social network models*. university of minnesota.
- Robins, G. (2011). Exponential random graph models for social networks. *Handbook of Social Network Analysis*. Sage.
- Robins, G., Pattison, P., & Woolcock, J. (2005). Small and other worlds: Global network structures from local processes. *American Journal of Sociology*, 110(4), 894–936.
- Skvoretz, J., & Faust, K. (1999). Logit models for affiliation networks. *Sociological Methodology*, 29(1), 253–280.
- Snijders, T. A. B. (2002). Markov chain Monte Carlo estimation of exponential random graph models. *Journal of Social Structure*, 3(2), 1–40.
- Snijders, T. A. B., Pattison, P. E., Robins, G. L., & Handcock, M. S. (2006). New specifications for exponential random graph models. *Sociological Methodology*, 36(1), 99–153.
- Strauss, D., & Ikeda, M. (1990). Pseudolikelihood estimation for social networks. *Journal of the American Statistical Association*, 85(409), 204–212.
- Wang, P. (2013). Exponential random graph model extensions: Models for multiple networks and bipartite networks. *Exponential Random Graph Models for Social Networks: Theory, Methods, and Applications*, 115–129.
- Wasserman, S., & Pattison, P. (1996). Logit models and logistic regressions for social networks: I. An introduction to Markov graphs andp. *Psychometrika*, 61(3), 401–425.

ANEXO E - LISTA DE PROJETOS DE I&D DO 7º PROGRAMA-QUADRO NMP

Projeto	Tópico	Tipo de Financiamento	Campo científico	Data de início	Data de fim	Custo total	Custo da EU	País Coordenador
MORDRED	NMP	CP-FP	MAT	01/04/2011	31/03/2015	5 039 560,43 €	3 624 853,00 €	FI
SYNFLOW	NMP	CP-IP	NNT	01/09/2010	31/08/2014	15 990 878,80 €	10 978 076,00 €	DE
MANUNET II	NMP	CSA-CA	IND	01/04/2011	30/09/2016	1 763 276,95 €	1 499 470,00 €	ES
T-REX	FoF	CP-IP	SCI	01/10/2013	30/09/2016	5 126 411,00 €	3 639 995,00 €	ES
ICMEG	NMP	CSA-CA	SCI	01/10/2013	30/09/2016	880 597,65 €	800 000,00 €	DE
NANEX	NMP	CSA-SA	NNT	01/12/2009	30/11/2010	1 005 897,12 €	951 876,00 €	UK
PLASMAS	NMP	CP-TP	SCI	01/11/2013	31/10/2016	4 799 724,00 €	3 635 432,00 €	UK
ECAMM	NMP	CSA-SA	ITT	01/03/2012	29/02/2016	499 065,42 €	445 000,00 €	BE
SKIN TREAT	NMP	CP-TP	IND	01/09/2008	31/08/2012	5 446 376,80 €	3 950 035,00 €	IL
ee-WiSE	EeB	CSA-SA	SCI	01/10/2012	30/09/2014	1 345 792,20 €	1 199 984,00 €	ES
ANASTASIA	NMP	CP-FP	NNT	01/01/2010	31/12/2012	4 677 813,00 €	3 134 676,00 €	FR
HELM	NMP	CP-IP	MAT	01/06/2012	31/05/2016	10 584 254,14 €	7 151 000,00 €	IT
INNOVABONE	NMP	CP-IP	MAT	01/11/2011	31/10/2015	8 015 252,53 €	6 199 649,00 €	AT
Hol-I-Wood PR	FoF	CP-FP	IND	01/01/2012	31/12/2014	4 216 173,60 €	2 955 033,00 €	IT
M3d	NMP	CP-FP	SCI	01/12/2012	30/11/2016	3 551 153,01 €	2 606 083,00 €	FR
REFFIBRE	NMP	CP-FP	SCI	01/11/2013	31/10/2016	3 973 305,25 €	2 785 782,00 €	FI
WINSMART	EeB	CP-FP	SCI	01/10/2012	30/09/2016	5 356 631,60 €	3 865 047,00 €	DK
CARENA	NMP	CP-IP	MAT	01/06/2011	31/05/2015	12 746 160,83 €	8 496 912,00 €	NL
ROBO-PARTNER	FoF	CP-IP	SCI	01/11/2013	30/04/2017	8 629 400,40 €	5 799 292,00 €	TR
EUNICE	GC	CP-IP	TRA	01/09/2012	31/08/2015	4 845 811,00 €	2 907 097,00 €	ES
MANpower	NMP	CP-FP	SCI	01/11/2013	31/10/2016	6 103 308,40 €	3 946 939,00 €	IE
AMCARE	NMP	CP-TP	SCI	01/11/2013	31/10/2017	8 694 507,60 €	6 795 349,00 €	IE
CAPITA	NMP	CSA-CA	IND	01/01/2012	31/05/2014	938 074,22 €	866 196,72 €	NL
NEWSPEC	NMP	CP-IP	SCI	01/11/2013	31/10/2017	10 045 587,00 €	7 393 755,00 €	IT
PolyGraph	NMP	CP-IP	SCI	01/11/2013	31/10/2017	7 200 308,40 €	5 031 164,00 €	UK
ISTRESS	NMP	CP-IP	SCI	01/01/2014	31/12/2016	8 615 106,78 €	6 135 868,00 €	IT
NeuroCare	NMP	CP-FP	NNT	01/03/2012	28/02/2015	5 159 670,85 €	3 619 985,00 €	FR
MF-RETROFIT	EeB	CP-FP	SCI	01/09/2013	28/02/2017	5 038 816,56 €	3 599 998,00 €	EL
SAFE@SEA	NMP	CP-TP	SOC	01/10/2009	30/09/2012	4 187 847,50 €	3 148 224,00 €	NO
SCAIL-UP	FoF	CP-FP	SCI	01/11/2013	31/10/2016	4 215 147,00 €	2 819 851,00 €	ES
GLADIATOR	NMP	CP-IP	SCI	01/11/2013	30/04/2017	12 398 941,00 €	8 655 776,00 €	DE
HEAT4U	EeB	CP-IP	IND	01/11/2011	31/10/2014	9 103 811,61 €	6 250 000,00 €	IT
BIOGNOSTIX	NMP	CP-TP	IND	01/04/2011	31/03/2014	4 725 690,00 €	3 680 105,00 €	UK
NETTUN	NMP	CP-IP	ESV	01/09/2012	28/02/2017	14 754 944,00 €	9 974 600,00 €	FR
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Nota: face ao elevado número de projetos e participantes as tabelas encontram-se disponíveis online, no seguinte link do researchgate (atualizado em janeiro 2020): <https://tinyurl.com/vn9oarz>

**Pesquisa booleana na base de dados Scopus para identificar as publicações científicas relativas às nanociências e nanotecnologia:**

TITLE(nano\* AND NOT (nano2 OR nano3 OR nano4 OR nano5 OR nanosecon\* OR nano-secon\* OR nanogram\* OR nano-gram\* OR nanomol\* OR nanophtalm\* OR nanomeli\* OR nanogeterotroph\* OR nanoplankton\* OR nanokelvin\* OR nanocurie OR nano-curie OR nanos OR nanos1 OR nanoprot\* OR nanophyto\* OR nanoflagel\* OR wnanomol\* OR wnano-curie\* OR wnanocurie\* OR anos1 OR nanobacter\* OR nano-bacter\* OR nanospray\* OR nano-spray\* OR plankton\* OR n\*plankton OR m\*plankton OR b\*plankton OR p\*plankton OR z\*plankton OR nanoalga\* OR nanoprotist\* OR nanofauna\* OR nano\*aryote\* OR nanoheterotroph\* OR "nanook of the north" OR nano-bible) OR (atomic-force-microscop\* OR afm OR transmission-electron-microscop\* OR tem OR scanning-tunneling-microscop\* OR tunnel\*-microscop\* OR stm OR scanning-electron- microscop\* OR sem OR self-assembl\* OR selfassembl\* OR self-organiz\* OR edx OR energy- dispersive-x-ray OR energy-dispersive-x-ray- spectroscop\* OR scanning-probe-microscop\* OR electron-energy-loss-spectroscop\* OR eels OR high-resolution-tem OR high-resolution- transmission-electron-microscop\* OR uv-vis OR x- ray-photoelectron\* OR x-ray-photoelectron\* OR xps OR uv-visible-spectroscop\* OR Ultraviolet- visible-spectroscop\* OR hrtem OR Chemical-force-microscop\* OR CFM OR scanning-force- microscop\* OR SFM OR NSOM OR NEAR- FIELD-SCANNING-OPTICAL-MICROSCOP\* OR SNOM OR "chemical vapor deposition" OR CVD OR " chemical vapour deposition " OR XRD OR " x-ray diffraction " OR " differential scanning calorimetry " OR DSC OR " molecular beam epitaxy " OR "mbe") AND (surface\* OR film\* OR layer\* OR substrate\* OR roughness OR monolayer\* OR mono-layer\* OR molecu\* OR structure\* OR resolution OR etch\* OR grow\* OR silicon OR si OR silicium OR "silicon oxide" OR sio2 OR deposit\* OR particle\* OR formation OR tip OR atom\* OR gold OR au OR polymer\* OR copolymer\* OR co-polymer\* OR gaas OR inas OR superlattice\* OR adsorption OR absorb\* OR island\* OR size OR powder\* OR resolution OR quantum\* OR multilayer\* OR multi-layer\* OR array\* OR mater\* OR supramolecular\* OR biolog\*) OR (quantum-dot\* OR quantum-wire\* OR quantum-well\* OR quantum-effect\* OR "quantum computing" OR coulomb-blockade\* OR coulomb-staircase\* OR molecu\*-motor\* OR molecu\*-ruler\* OR molecu\*-device\* OR "molecular beacon" OR molecular-sensor\* OR "molecular engineering" OR molecular-electronic\* OR molecular-manufact\* OR "molecular modeling" OR "molecular simulation" OR molecu\*-wire\* OR molecular-sieve\* OR biosensor\* OR bionano\* OR hipco OR molecular- template\* OR carbon-tub\* OR carbontub\* OR bucky-tub\* OR buckytub\* OR fulleren\* OR biochip\* OR dna-cmos\* OR graphen\* OR graphit\* OR single-molecu\* OR langmuir-blodgett OR pdms-stamp\* OR pebbles OR nems OR quasicrystal\* OR quasi-crystral\* OR sol-gel\* OR solgel\* OR dendrimer\* OR soft-lithograph\* ))

**Pesquisa booleana na base de dados esp@cenet para identificar as patentes relativas às nanociências e nanotecnologia:**

Pesquisa booleana utilizada na base de dados de patentes da EPO foi elaborada segundo a Cooperative Patent Classification system (CPC), B82Y, uma extensão da International Patent Classification (IPC) para a sub-classe da nanotecnologia.

## ANEXO G – SCRIPT EM LINGUAGEM R UTILIZADO PARA CALCULAR OS PARÂMETROS DE MODELAÇÃO DOS MODELOS ERGM E OUTPUTS

### # Packages necessários

```
library("statnet")
library("network")
library("sna")
library("ergm")
library("matrix")
```

### #Preparação dos dados

```
A <- spMatrix(nrow=length(unique(edges$source)),
             ncol=length(unique(edges$target)),
             i = as.numeric(factor(edges$source)),
             j = as.numeric(factor(edges$target)),
             x = rep(1, length(as.numeric(edges$source))) )
row.names(A) <- levels(factor(Projects$projectAcronym))
colnames(A) <- levels(factor(Participants$shortName))
A
```

### #transformação matriz afiliação em adjacência (1 modo)

```
Arow <- tcrossprod(A)
```

```
Acol <- tcrossprod(t(A))
```

```
M<- as.matrix(Acol)
```

```
N <- as.matrix.network(M, matrix.type = "adjacency", attrname = "projects", directed=F)
```

### #Associar os atributos aos vértices (dimensões institucionais dos sistemas de inovação)

```
N%v%"Type" <-Participants$activityType
N%v%"Country" <-Participants$country
```

### #Dimensão socioeconômica

```
N%v%"SOC_Si_Sci" <-Participants$`SI (SciProd)`
N%v%"SOC_Si_Inov" <-Participants$`SI (innov)`
N%v%"SOC_GBORD" <-Participants$SOC_GBORD
N%v%"SOC_BUS" <-Participants$SOC_BUS
N%v%"SOC_PROD" <-Participants$SOC_PROD
N%v%"SOC_IES" <-Participants$SOC_IES
```

### #Dimensão político-econômica

```
N%v%"POL_SP" <-Participants$POL_SP
N%v%"POL_DEGR" <-Participants$POL_DEGREE
N%v%"POL_VOC" <-Participants$POL_VOC
```

### #Dimensão tecno-sociológica

```
N%v%"TEC_FP7INFR" <-Participants$TEC_FP7INFR
N%v%"TEC_ESFRInano" <-Participants$TEC_ESFRI_nano
N%v%"TEC_S3" <-Participants$TEC_S3
N%v%"TEC_NET" <-Participants$TEC_NET
```

### #Dimensão Estrutural

```
modelA<-ergm(N~edges, control=control.ergm(main.method = "Stochastic-Approximation", seed=123))
summary(modelA)
mcmc.diagnostics(modelA)
modelA.gof<-gof(modelA~model)
```

```
modelB<-ergm(N~edges +kstar(2) +gwesp(decay=0.25, fixed=TRUE), control=control.ergm(main.method = "Stochastic-
Approximation", seed=123))
summary(modelB)
mcmc.diagnostics(modelB)
modelB.gof<-gof(modelB~model)
```

### #Dimensão tipológica

```
modelC<-ergm(N~edges +kstar(2) +gwesp(decay=0.25, fixed=TRUE)+nodematch("Type"),control=control.ergm(main.method =
"Stochastic-Approximation", MPLE.max.dyad.types = 1e+06,MPLE.samplesize = 500000, seed=123))
summary(modelC)
mcmc.diagnostics(modelC)
modelC.gof<-gof(modelC~model)
```

```
modelC1<-ergm(N~edges +nodematch("Type", diff=T ),control=control.ergm(main.method = "Stochastic-Approximation",
MPLE.max.dyad.types = 1e+06,MPLE.samplesize = 500000, seed=123))
summary(modelC1)
mcmc.diagnostics(modelC1)
modelC1.gof<-gof(modelC1~model)
```

### #Dimensões Institucionais (Atributos)

```

modelD<-ergm(N~edges +kstar(2) +gwesp(decay=0.25,
fixed=TRUE)+nodematch("Type")+nodecov("SOC_Si_Sci")+nodecov("SOC_Si_Inov")+nodecov("SOC_GBORD")+nodecov("SOC_BUS")
+nodecov("SOC_PROD"), control=control.ergm(main.method = "Stochastic-Approximation", MPLE.max.dyad.types =
1e+06,MPLE.samplesize = 500000, seed=123))
summary(modelD)
mcmc.diagnostics(modelD)
modelD.gof<-gof(modelD~model)

modelE<-ergm(N~edges +kstar(2) +gwesp(decay=0.25,
fixed=TRUE)+nodematch("Type")+nodecov("SOC_Si_Sci")+nodecov("SOC_Si_Inov")+nodecov("SOC_GBORD")+nodecov("SOC_BUS")
+nodecov("SOC_PROD")+nodematch("POL_SP", diff=F)+nodematch("POL_VOC", diff=F)+nodecov("POL_DEGR"),
control=control.ergm(main.method = "Stochastic-Approximation", MPLE.max.dyad.types = 1e+06,MPLE.samplesize =
500000, seed=123))
summary(modelE)
mcmc.diagnostics(modelE)
modelE.gof<-gof(modelE~model)

modelF<-ergm(N~edges +kstar(2) +gwesp(decay=0.25,
fixed=TRUE)+nodematch("Type")+nodecov("SOC_Si_Sci")+nodecov("SOC_Si_Inov")+nodecov("SOC_GBORD")+nodecov("SOC_BUS")
+nodecov("SOC_PROD")+nodematch("POL_SP", diff=F)+nodematch("POL_VOC", diff=F)+nodecov("POL_DEGR")
+nodecov("TEC_FP7INFR")+nodecov("TEC_ESFRInano")+nodecov("TEC_NET"), control=control.ergm(main.method =
"Stochastic-Approximation", MPLE.max.dyad.types = 1e+06,MPLE.samplesize = 500000, seed=123))
summary(modelF)
mcmc.diagnostics(modelF)
modelF.gof<-gof(modelF~model)

```

#### **#Análise das descritivas (adaptado de Opsahl, 2012)**

##### **# Calcular o grau (degree)**

```
deg <- degree(N, measure="degree")
hist(deg$degree, nclass = 100)
```

##### **# Calcular o nível de proximidade (closeness)**

```
clo <- closeness(N, directed=F)
```

##### **# Calcular o nível de intermediação (betweenness)**

```
bet <- betweenness(N, directed = F)
```

## OUTPUTS

### ModelA

Summary of model fit

Formula:  $N \sim \text{edges}$

Iterations: NA

Monte Carlo MLE Results:

	Estimate	Std. Error	MCMC % z value	Pr(> z )
edges	-5.05567	0.00373	0	-1355 <1e-04 ***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Null Deviance: 15827366 on 11417031 degrees of freedom  
Residual Deviance: 876122 on 11417030 degrees of freedom

AIC: 876124 BIC: 876138 (Smaller is better.)

### ModelC

Summary of model fit

Formula:  $N \sim \text{edges} + \text{kstar}(2) + \text{gwesp}(\text{decay} = 0.25, \text{fixed} = \text{TRUE}) + \text{nodematch}(\text{"Type"})$

Iterations: NA

Monte Carlo MLE Results:

	Estimate	Std. Error	MCMC % z value	Pr(> z )
edges	-168,90	0,01	99,00	-18851,80 <1e-04 ***
kstar2	0,02	0,00	55,00	401,00 <1e-04 ***
gwesp.fixe	126,30	0,00	2,00	47231,90 <1e-04 ***
nodematch.	3,89	0,02	100,00	232,30 <1e-04 ***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Null Deviance: 12335068 on 8897871 degrees of freedom  
Residual Deviance: 658692 on 8897867 degrees of freedom

AIC: 658700 BIC: 658756 (Smaller is better.)

### ModelB

Summary of model fit

Formula:  $N \sim \text{edges} + \text{kstar}(2) + \text{gwesp}(\text{decay} = 0.25, \text{fixed} = \text{TRUE})$

Iterations: NA

Monte Carlo MLE Results:

	Estimate	Std. Error	MCMC % z value	Pr(> z )
edges	-30,4	0,003386	8	-8979,9 <1e-04 ***
kstar2	0,00275	2,02E-05	8	136,1 <1e-04 ***
gwesp.fixe	21,29	0,000537	1	39624,5 <1e-04 ***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Null Deviance: 15827366 on 11417031 degrees of freedom  
Residual Deviance: 838690 on 11417028 degrees of freedom

AIC: 838696 BIC: 838739 (Smaller is better.)

### ModelC1

Summary of model fit

Formula:  $N \sim \text{edges} + \text{nodematch}(\text{"Type"}, \text{diff} = \text{T})$

Iterations: NA

Monte Carlo MLE Results:

	Estimate	Std. Error	MCMC % z value	Pr(> z )
edges	-5.046775	0.006058	0	-833.088 < 1e-04 ***
nodematch.Type.HES	-0.118408	0.040787	0	-2.903 0.003695 **
nodematch.Type.OTH	0.579183	0.073023	0	7.932 < 1e-04 ***
nodematch.Type.PRC	-0.032840	0.008604	0	-3.817 0.000135 ***
nodematch.Type.PUB	0.147403	0.117629	0	1.253 0.210161
nodematch.Type.REC	-0.203536	0.041886	0	-4.859 < 1e-04 ***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Null Deviance: 12335068 on 8897871 degrees of freedom  
Residual Deviance: 677556 on 8897865 degrees of freedom

AIC: 677568 BIC: 677652 (Smaller is better.)

## ModelD

Summary of model fit

Formula:  $N \sim \text{edges} + \text{kstar}(2) + \text{gwesp}(\text{decay} = 0.25, \text{fixed} = \text{TRUE}) + \text{nodematch}(\text{"Type"}) + \text{nodecov}(\text{"SOC\_Si\_Sci"}) + \text{nodecov}(\text{"SOC\_Si\_Inov"}) + \text{nodecov}(\text{"SOC\_GBORD"}) + \text{nodecov}(\text{"SOC\_BUS"}) + \text{nodecov}(\text{"SOC\_PROD"})$

Iterations: NA

Monte Carlo MLE Results:

	Estimate	Std. Error	MCMC %	z value	Pr(> z )	
edges	-127,600	0,086	100	-1488,7	<1e-04	***
kstar2	0,019	0,000	6	245,72	<1e-04	***
gwesp.fixed.0.25	131,600	0,003	6	47471,4	<1e-04	***
nodematch.Type	-0,364	0,016	99	-22,2	<1e-04	***
nodecov.SOC_Si_Sci	-6,085	0,023	99	-260,57	<1e-04	***
nodecov.SOC_Si_Inov	-12,470	0,016	98	-799,97	<1e-04	***
nodecov.SOC_GBORD	-4,597	0,020	97	-232,98	<1e-04	***
nodecov.SOC_BUS	-0,226	0,003	8	-76,85	<1e-04	***
nodecov.SOC_PROD	0,026	0,000	5	120,43	<1e-04	***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Null Deviance: 12335068 on 8897871 degrees of freedom  
Residual Deviance: 702106 on 8897862 degrees of freedom

AIC: 702124 BIC: 702250 (Smaller is better.)

## ModelE

Summary of model fit

Formula:  $N \sim \text{edges} + \text{kstar}(2) + \text{gwesp}(\text{decay} = 0.25, \text{fixed} = \text{TRUE}) + \text{nodematch}(\text{"Type"}) + \text{nodecov}(\text{"SOC\_Si\_Sci"}) + \text{nodecov}(\text{"SOC\_Si\_Inov"}) + \text{nodecov}(\text{"SOC\_GBORD"}) + \text{nodecov}(\text{"SOC\_BUS"}) + \text{nodecov}(\text{"SOC\_PROD"}) + \text{nodematch}(\text{"POL\_SP"}, \text{diff} = \text{F}) + \text{nodematch}(\text{"POL\_VOC"}, \text{diff} = \text{F}) + \text{nodecov}(\text{"POL\_DEGR"})$

Iterations: NA

Monte Carlo MLE Results:

	Estimate	Std. Error	MCMC %	z value	Pr(> z )	
edges	-148,900	0,104	100	-1434,21	<1e-04	***
kstar2	0,060	0,000	6	524,079	<1e-04	***
gwesp.fixed.0.25	132,500	0,002	20	57187,14	<1e-04	***
nodematch.Type	-9,351	0,012	100	-788,688	<1e-04	***
nodecov.SOC_Si_Sci	9,129	0,033	99	277,191	<1e-04	***
nodecov.SOC_Si_Inov	0,147	0,018	99	8,236	<1e-04	***
nodecov.SOC_GBORD	-18,350	0,022	99	-818,218	<1e-04	***
nodecov.SOC_BUS	0,361	0,002	13	158,128	<1e-04	***
nodecov.SOC_PROD	0,030	0,000	6	106,133	<1e-04	***
nodematch.POL_SP	3,302	0,012	100	277,38	<1e-04	***
nodematch.POL_VOC	-8,027	0,015	99	-540,255	<1e-04	***
nodecov.POL_DEGR	-0,428	0,002	18	-206,23	<1e-04	***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Null Deviance: 12335068 on 8897871 degrees of freedom  
Residual Deviance: 773016 on 8897859 degrees of freedom

AIC: 773040 BIC: 773208 (Smaller is better.)

ModelF

Summary of model fit

Formula:  $N \sim \text{edges} + \text{kstar}(2) + \text{gwsesp}(\text{decay} = 0.25, \text{fixed} = \text{TRUE}) + \text{nodematch}(\text{"Type"}) + \text{nodecov}(\text{"SOC\_Si\_Sci"}) + \text{nodecov}(\text{"SOC\_Si\_Inov"}) + \text{nodecov}(\text{"SOC\_GBORD"}) + \text{nodecov}(\text{"SOC\_BUS"}) + \text{nodecov}(\text{"SOC\_PROD"}) + \text{nodematch}(\text{"POL\_SP", diff = F}) + \text{nodematch}(\text{"POL\_VOC", diff = F}) + \text{nodecov}(\text{"POL\_DEGR"}) + \text{nodecov}(\text{"TEC\_FP7INFR"}) + \text{nodecov}(\text{"TEC\_ESFRInano"}) + \text{nodecov}(\text{"TEC\_NET"})$

Iterations: NA

Monte Carlo MLE Results:

	Estimate	Std. Error	MCMC %	z value	Pr(> z )
edges	-35,42	0,224	100	-158,07	<1e-04 ***
kstar2	0,06	0,000	8	667,15	<1e-04 ***
gwsesp.fixed.0.25	132,80	0,002	99	66995,6	<1e-04 ***
nodematch.Type	0,22	0,015	100	14,2	<1e-04 ***
nodecov.SOC_Si_Sci	-8,09	0,037	100	-220,62	<1e-04 ***
nodecov.SOC_Si_Inov	8,76	0,023	100	377,8	<1e-04 ***
nodecov.SOC_GBORD	-11,35	0,022	100	-505,67	<1e-04 ***
nodecov.SOC_BUS	0,32	0,001	98	220,78	<1e-04 ***
nodecov.SOC_PROD	0,04	0,000	44	189,37	<1e-04 ***
nodematch.POL_SP	-1,35	0,017	100	-81,37	<1e-04 ***
nodematch.POL_VOC	7,97	0,013	100	624,39	<1e-04 ***
nodecov.POL_DEGR	-0,33	0,002	98	-199,22	<1e-04 ***
nodecov.TEC_FP7INFR	0,06	0,000	4	218,64	<1e-04 ***
nodecov.TEC_ESFRInano	1,88	0,005	100	358,46	<1e-04 ***
nodecov.TEC_NET	-0,91	0,001	59	-718,97	<1e-04 ***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Null Deviance: 12335068 on 8897871 degrees of freedom  
Residual Deviance: 829467 on 8897856 degrees of freedom

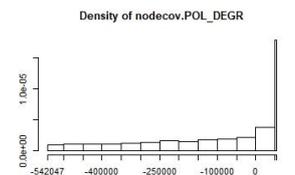
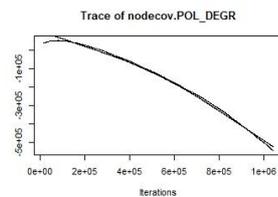
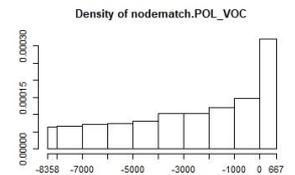
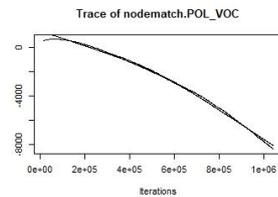
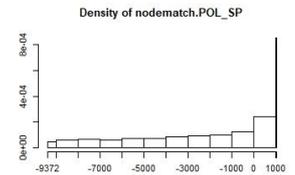
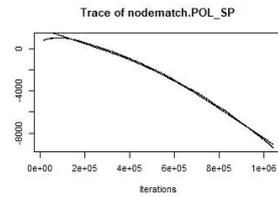
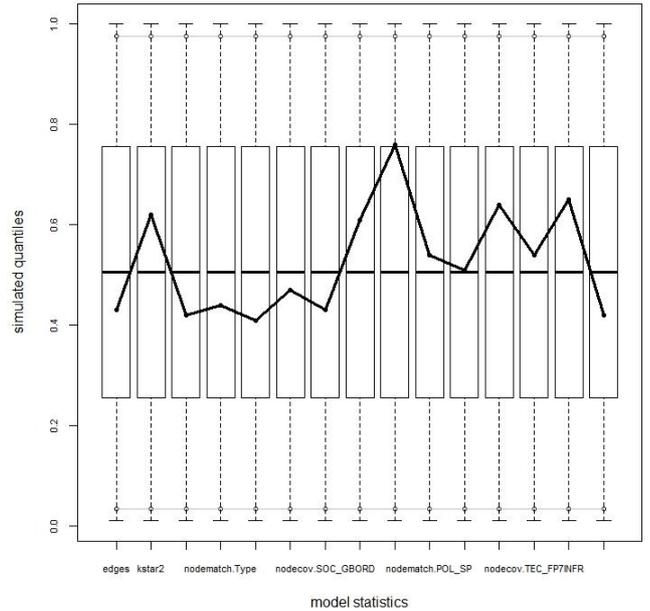
AIC: 829497 BIC: 829707 (Smaller is better.)

ModelF

Goodness-of-fit for model statistics

	obs	min	mean	max MC	p-value
edges	55839.00	37211.00	58006.58	104555.0	0.86
kstar2	5604210.00	4167245.00	7934884.58	16788429.0	0.76
gwsesp.fixed.0.25	71680.56	47379.06	73917.20	133618.7	0.84
nodematch.Type	28420.00	19035.00	30133.45	55053.0	0.88
nodecov.SOC_Si_Sci	113774.83	74454.43	115259.52	206970.6	0.82
nodecov.SOC_Si_Inov	103555.71	71880.77	113544.09	206824.8	0.94
nodecov.SOC_GBORD	158448.98	105123.64	165383.86	301504.8	0.86
nodecov.SOC_BUS	1180254.49	914257.54	1548141.70	2955011.5	0.78
nodecov.SOC_PROD	15277378.00	13648552.00	24355332.19	47230039.0	0.48
nodematch.POL_SP	22499.00	15919.00	27424.09	52610.0	0.92
nodematch.POL_VOC	19492.00	13997.00	22374.41	40850.0	0.98
nodecov.POL_DEGR	1350609.00	1083866.00	1849457.43	3521818.0	0.72
nodecov.TEC_FP7INFR	21243455.00	15712043.00	25302164.98	46733603.0	0.92
nodecov.TEC_ESFRInano	344100.00	279573.00	469738.82	885444.0	0.70
nodecov.TEC_NET	9789083.86	6468465.00	10069835.54	18137559.2	0.84

Goodness-of-fit diagnostics



### Goodness-of-fit diagnostics

