



FÁTIMA VELEZ DE CASTRO,
JOÃO LUÍS FERNANDES
RUI GAMA

**REDES,
CAPITAL HUMANO
E GEOGRAFIAS
DA COMPETITIVIDADE**

IMPRESA DA
UNIVERSIDADE
DE COIMBRA
COIMBRA
UNIVERSITY
PRESS

**REDES DE CONHECIMENTO NAS CIÊNCIAS DA SAÚDE:
ANÁLISE A PARTIR DE STAR SCIENTISTS NACIONAIS
KNOWLEDGE NETWORKS IN HEALTH SCIENCES:
ANALYSIS FROM PORTUGUESE STAR SCIENTISTS**

Célia Ferreira

CEGOT/Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Teresa Sá Marques

CEGOT/Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Resumo

As redes de colaboração científica, estabelecidas nas diversas escalas de análise e operacionalizadas através de diferentes mecanismos de cooperação, são reconhecidas como importantes para os processos de produção e transferência de conhecimento. Existem numerosos trabalhos académicos que procuram compreender, mediante uma perspetiva estática ou dinâmica, as relações de colaboração entre investigadores. Em diversos trabalhos a análise centra-se na análise das redes de *star scientists*: cientistas de topo, que pela sua reputação, genialidade e elevada produtividade são considerados uma referência numa dada área do conhecimento. As publicações científicas, não sendo a única, são uma importante forma de colaboração entre os investigadores e, através deles, entre instituições e, nessa medida, estes documentos têm sido amplamente utilizados para identificação das redes de coautoria e colaboração científica. Neste trabalho, pretende-se

contribuir para a análise dessas redes através dos estudos de caso de dois *star scientists* portugueses na área das Ciências da Saúde - Alexandre Quintanilha e Manuel Sobrinho-Simões.

Palavras-chave: Redes de coautoria; Redes de colaboração institucional; Ciências da Saúde; Star scientists.

Abstract

The scientific collaboration networks, established in different scales of analysis and operationalized through different mechanisms of cooperation, are recognized as important for production and knowledge transfer processes. There are numerous academic studies that seek to understand, through a static or dynamic perspective, collaborative relationships among researchers. In several studies the analysis focuses on the networks of star scientists: top researchers, whose reputation, genius and high productivity make them a reference in a given knowledge domain. Scientific publications, although not the only, are an important form of collaboration between researchers and, through them, between institutions and, as such, these documents have been widely used for identification of coauthorship and institutional collaboration networks. In this work, we intend to contribute to the analysis of these networks through the case studies of two star Portuguese scientists in the area of Health Sciences - Alexandre Quintanilla and Manuel Sobrinho - Simões.

Keywords: Coauthorship network; Institutional collaboration network; Health sciences; Star scientists.

Introdução

As redes de colaboração entre investigadores e entre instituições, estabelecidas nas diversas escalas de análise, são reconhecidas na literatura científica

como tendo um papel importante nos processos de produção e difusão do conhecimento científico ao constituírem canais de transferência de informação e recursos (Newman 2001, Owen-Smith and Powell 2004).

Desde a década de 90 do século XX e, sobretudo, com maior incidência, desde inícios do século XXI, verificou-se o desenvolvimento de trabalhos sobre as relações de colaboração de autores específicos e de instituições específicas, selecionados para análise por apresentarem, designadamente, elevada produtividade científica (Newman 2004). Recorrendo à abordagem egocêntrica de análise de redes sociais, e através de uma perspetiva estática ou dinâmica em termos temporais, têm sido desenvolvidos diversos estudos em linha com o conceito sociológico de *star* – o indivíduo que centraliza as atenções do grupo e que tem influência sobre o mesmo (Scott 2000). Nos anos 90, Lynne Zucker e Michael Darby apresentaram evidências empíricas de que os cientistas de topo, por si designados de *star scientists*, desempenham um importante papel nos processos de produção e difusão de conhecimento e no estabelecimento de infraestruturas do conhecimento (Zucker and Darby 2006, Maier, Kurka *et al.* 2007). Desde então, o conceito tem vindo a ser aplicado em diversos trabalhos académicos.

A produção de publicações científicas constitui um importante mecanismo de colaboração entre investigadores e, através deles, entre as instituições às quais se encontram afiliados. E, nessa medida, as publicações científicas têm sido utilizadas para estabelecer as ligações entre autores e entre as suas afiliações (Zucker, Darby *et al.* 2007).

As redes de coautoria científica são identificadas com base nas publicações conjuntas entre autores e as redes de colaboração institucional são estabelecidas com base na afiliação institucional dos autores das publicações (Valderrama-Zurián, González-Alcaide *et al.* 2007).

Neste trabalho segue-se a abordagem egocêntrica das redes de coautoria e colaboração institucional. Tendo como referência o conceito de *star scientist*, será apresentada a evolução das redes de publicação de Alexandre Quintanilha e Manuel Sobrinho-Simões, dois reputados investigadores portugueses na área das Ciências da Saúde.

A análise evolutiva da caracterização estrutural das redes de coautoria e colaboração institucional é feita com recurso ao cálculo de medidas de análise de redes sociais e à representação gráfica das redes, através de grafos. A representação cartográfica das redes de colaboração entre as instituições referenciadas nas suas publicações científicas permite compreender a evolução dos padrões espaciais de colaboração.

Os resultados mostram que apesar das configurações das redes serem diferentes, devido, em larga medida, aos percursos profissionais distintos, a produção de publicações científicas de ambos os investigadores é feita, sobretudo, em rede com outros investigadores e com o envolvimento de diferentes instituições.

Em termos de estrutura, este trabalho inicia-se com a abordagem ao surgimento do conceito de *star scientist* e com a apresentação de exemplos de trabalhos académicos nos quais tem sido aplicado. Num ponto seguinte, será feito o enquadramento teórico e metodológico das redes de colaboração científica. Segue-se a explicitação dos procedimentos metodológicos adotados no trabalho aqui apresentado e a apresentação de resultados. O documento é finalizado com a sistematização das principais conclusões.

Star Scientists: Conceito e importância

As redes sociais têm vindo a ser estudadas de forma teórica e empírica num número cada vez mais alargado de áreas do conhecimento (Lemieux e Ouimet 2008, Baur, Brandes *et al.* 2009). Os estudos iniciais, dos anos 30 do século XX, centravam-se sobretudo na análise das relações informais entre indivíduos, focando-se nas suas ligações familiares, de amizade, de vizinhança ou nas suas ligações no trabalho. A abordagem era fundamentalmente egocêntrica, ou seja, eram analisadas as redes de indivíduos específicos selecionados pela sua importância – ou centralidade – num grupo. Estas pessoas, que gozavam de popularidade e que se encontravam, por variados motivos, no centro das atenções enquadravam-se no conceito sociológico de “star” (Scott 2000).

Desde então, o desenvolvimento dos estudos passou pela complexificação dos sistemas sociais considerados. O objeto de análise deixou de ser, sobretudo, indivíduos ou grupos, passando a ser também organizações. Os trabalhos deixaram de ser meramente descritivos, tendo-se adotado métodos de análise fundamentados em teorias e modelos matemáticos (Scott 2000).

Barnes distinguia, nos anos 70 do século XX, duas abordagens diferentes em análise de redes sociais: a abordagem egocêntrica, centrada nas redes específicas de indivíduos, grupos ou organizações de referência e a abordagem sociocêntrica, na qual são analisados os padrões de interação entre os diversos agentes que constituem uma dada rede (Scott 2000).

Recorrendo à abordagem egocêntrica, na década de 80 do século XX, Ann Greer estudou a difusão das novas tecnologias médicas no seio de profissionais que trabalhavam em comunidades locais dos EUA, Reino Unido e Canadá, centrando a sua atenção no papel de pessoas respeitadas e reconhecidas como de confiança – os *opinion leaders* – na aceitação e adoção das novas tecnologias por parte das diversas comunidades (Greer 1988).

Na década seguinte do mesmo século, Lynne Zucker e Michael Darby estudaram o papel dos cientistas de topo na difusão e comercialização de inovações na área da biotecnologia e no estabelecimento e desenvolvimento de relações de cooperação entre universidades e empresas. Partindo da premissa de que estes cientistas diferem dos outros investigadores pela sua genialidade, capacidade de serem criativos e inovadores e, ainda, pela sua elevada produtividade científica – medida pelo número de artigos científicos publicados, pelas citações a esses artigos e pelo número de patentes registadas –, os autores identificaram como “*star bioscientists*” todos os investigadores com mais de 40 descobertas na sequência genética ou 20 ou mais artigos sobre descobertas da sequência genética desde 1990. Zucker e Darby estabeleceram relação entre a localização espacial e temporal dos “*star bioscientists*” e o local e momento temporal no qual surgiam novas empresas na área da biotecnologia (Zucker and Darby 1996, Zucker and Darby 1997, Zucker and Darby 1997, Zucker and Darby 2006). Num estudo datado de 2006, Lynne Zucker e Michael Darby alargaram o conceito de “*star scientist*” a todas as áreas da ciência e tecnologia,

apresentando evidências de que o número de *star scientists* num dado local tem um efeito positivo na probabilidade de surgimento de empresas numa dada área de atividade. A sua pesquisa consistiu na identificação, a nível mundial, dos autores dos artigos mais citados durante o período 1981-2004 nas áreas científicas e tecnológicas cobertas pela *ISIHighlyCited.com*¹ (Zucker and Darby 2006), uma plataforma digital criada pelo *Institute of Scientific Information (ISI)* onde era apresentado o ranking dos 1% de autores mais citados nas diferentes áreas do conhecimento. A localização dos cientistas de topo foi feita através dos endereços das afiliações institucionais constantes dos artigos científicos por eles publicados (Zucker and Darby 1997, Zucker and Darby 2006).

Maier, Kurka *et al.* (2007) adotaram o conceito e a metodologia de identificação e localização de “*star scientists*”, aplicados por Zucker e Darby, para estudar a mobilidade espacial destes cientistas. Os autores afirmam que os *star scientists* têm um importante papel no estabelecimento das infraestruturas do conhecimento. Apontam também algumas limitações à utilização da plataforma *ISIHighlyCited.com*, uma vez que os cientistas mais velhos têm maior probabilidade de serem considerados “*star scientists*” por terem um tempo mais longo de acumulação de artigos científicos; para além disso, acrescentam que não constam da base bibliográfica alguns prémios Nobel precisamente por não terem ainda acumulado artigos e citações suficientes.

Higgins, Stephan *et al.* (2011) adotaram uma definição mais restrita do conceito, considerando como *star scientists* todos os laureados com o prémio Nobel, num trabalho onde analisam as repercussões para o desempenho das empresas decorrentes da associação com estes cientistas.

Muito recentemente, Moretti and Wilson (2014) utilizaram o registo de patentes para identificar e localizar os cientistas de topo, num estudo onde avaliam os efeitos dos incentivos financeiros concedidos pelos estados norte-americanos (no âmbito das políticas públicas de incentivo à formação

¹ A *ISIHighlyCited.com* consistia numa plataforma digital promovida pelo *Institute of Scientific Information (ISI)* – da *Thomson Reuters* - onde eram apresentados os rankings dos autores mais citados, calculados a partir de informação constante da *ISI – Web of Science*. A partir de 31 de Dezembro de 2011 foi substituída por uma nova plataforma designada por *Essential Science Indicators*.

e desenvolvimento dos clusters de inovação) na localização e mobilidade dos *star scientists* na área da biotecnologia.

Desde os primeiros trabalhos de Lynne Zucker e Michael Darby surgiram na literatura científica numerosos trabalhos sobre o papel dos *star scientists* no desenvolvimento científico e no desempenho das empresas, sobretudo em áreas onde a pesquisa e a investigação capazes de conduzir a novas descobertas são fundamentais. Os *star scientists* são considerados particularmente importantes na produção de inovação (Moretti and Wilson 2014). Num estudo sobre a área da biotecnologia, Higgins, Stephan *et al.* (2011) afirmam que estes cientistas podem contribuir de forma particular para a credibilidade da investigação conduzida pelas empresas, sendo que a sua presença pode potenciar a atração de outros cientistas de topo.

Num trabalho sobre a especialização das regiões na biotecnologia – as designadas bioregiões –, a propósito das vantagens competitivas das empresas se organizarem em clusters de biotecnologia, Cooke (2005) afirma que estas se prendem com o acesso a tudo o que as redes de conhecimento dessas áreas permitem: o capital humano e o talento que se forma nos institutos de investigação e nos laboratórios das universidades locais; a existência de potenciais investidores financeiros; a possibilidade de colaboração com outras equipas de investigação, bem como a presença de *star scientists* e seus colaboradores.

As redes de colaboração científica: enquadramento teórico e metodológico

As relações sociais, formalizadas ou não, entre indivíduos ou instituições têm importantes implicações para os processos de produção e difusão do conhecimento, na medida em que constituem canais de transferência de informação e recursos no interior de uma dada estrutura social. Para além do interesse científico em estudar as relações humanas, este é um forte motivo pelo qual tem havido um grande desenvolvimento dos estudos sobre as interações entre agentes (Newman 2001, Owen-Smith and Powell 2004).

São diversas as razões pelas quais os investigadores colaboram entre si. Por um lado, a interação entre investigadores potencia a criatividade pela troca e

partilha de ideias, informação, material científico ou modelos de análise (Zucker and Darby 1996) e, por outro lado, a colaboração pode representar ainda uma melhor reputação, o reconhecimento profissional e o acesso a recursos (Wagner and Leydesdorff 2005), assim como a repartição dos custos de investigação.

É dada ênfase às interações nas diversas escalas de análise; todavia, é atribuída particular importância às colaborações internacionais entre investigadores de comunidades epistémicas similares, as designadas redes globais, consideradas, na atualidade, indispensáveis para a criação de conhecimento (Asheim, Coenen et al. 2007).

O envolvimento de sinergias entre investigadores é considerado uma importante componente da criatividade científica. A produção de publicações científicas constitui uma forma de colaboração entre investigadores, forma essa através da qual ocorre a transmissão de conhecimento codificado e tácito e através da qual é gerado ou desenvolvido novo conhecimento (Barabási, Jeong et al. 2002).

Foi a partir dos anos 60 do século passado, quando Solla Price sugeriu estudar a produção científica através de métodos científicos usados na própria ciência, que proliferaram os trabalhos académicos sobre as relações entre publicações científicas e entre investigadores (Boyack, Klavans et al. 2005), estabelecendo-se as redes, nomeadamente, a partir das referências e das citações bibliográficas (Newman 2001).

D. Crane foi pioneira no estudo das redes entre investigadores. Nos anos 70 do século XX, efetuou a realização de questionários para perceber os padrões de comunicação e de publicação conjunta entre sociólogos do meio rural. Na década seguinte, Gattrell utilizou a abordagem sociométrica para caracterizar a estrutura da rede de grupos de investigação. Segundo a literatura teórica, foi sobretudo a partir dos anos 70 do século passado que se verificou o incremento no número de artigos publicados em jornais de referência, no número de cientistas com artigos submetidos, bem como a maior diversificação das localizações de origem desses cientistas. Verificou-se igualmente um forte crescimento da colaboração entre investigadores na produção de artigos científicos, aumentando também o número de publicações com o envolvimento de autores provenientes de diferentes regiões e nacionalidades. Houve como que uma reconstrução

espacial do mundo científico, passando-se da colaboração essencialmente local para a colaboração cada vez mais globalizada (Andersson and Persson 1993).

A produção de publicações científicas constitui uma importante forma de colaboração entre autores e, através deles, entre as instituições. As publicações têm sido, por isso, amplamente utilizadas para estabelecer as ligações entre investigadores e/ou entre as suas afiliações. Apesar de se reconhecer que grande parte do conhecimento gerado e utilizado pelos investigadores não se encontra registada em publicações científicas, a sua contabilização tem sido utilizada como forma de medir o conhecimento produzido numa dada área científica, num dado local e num determinado período temporal (Zucker, Darby et al. 2007).

Desde a década de 90 do século XX e, sobretudo, com maior incidência, desde inícios do século XXI, verificou-se o desenvolvimento de trabalhos sobre as relações de colaboração de autores específicos e de instituições específicas, selecionados para análise por apresentarem, designadamente, elevada produtividade científica (Newman 2004). As redes de coautoria científica são identificadas com base nas publicações conjuntas entre autores e as redes de colaboração institucional são estabelecidas com base na afiliação institucional dos autores das publicações (Valderrama-Zurián, González-Alcaide et al. 2007). Em regra, os trabalhos analisam as redes dos autores e das instituições constantes de bases de dados bibliográficas – ou segmentos das mesmas – selecionadas pela sua adequação aos objetivos concretos da análise, que podem centrar-se fundamentalmente em determinada(s) área(s) do conhecimento, período temporal e/ou área geográfica (Quadro 1).

A unidade de análise podem ser os autores e/ou as instituições. Podem ser selecionadas para análise determinadas áreas do conhecimento (quando é escolhida mais do que uma são efetuadas, regra geral, comparações) ou, então, pode considerar-se a generalidade delas, produzindo-se “mapas da ciência” similares aos mapas cartográficos do mundo (Boyack, Klavans et al. 2005).

Quando escolhida a perspetiva dinâmica das redes, é conhecido o momento em que cada autor ou instituição entra na rede. O momento temporal em que as relações entre autores ou instituições são estabelecidas é conhecido através do ano de publicação dos documentos científicos analisados (Barabási, Jeong et

al. 2002). Regra geral, quer na perspetiva estática quer na perspetiva dinâmica não têm sido selecionados, em trabalhos anteriores, períodos de análise muito alargados dado o volume de informação em causa.

Quadro 1 - Abordagem empírica das redes de coautoria e colaboração institucional

	Forma de abordagem	Especificação
Unidade de análise	Autores	São analisadas as redes de coautoria a partir da identificação da totalidade de autores de uma dada rede.
	Instituições	São analisadas as redes de colaboração entre instituições a partir da afiliação institucional dos autores de uma dada rede.
Dominio científico de análise	Área(s) científica(s)	Seleção e análise de uma ou mais áreas científicas e, neste último caso, comparação dos seus padrões de colaboração.
	Perspetiva global da ciência	Consideração de todas as áreas científicas, de forma independente ou por agrupamento de áreas (por exemplo, ciências sociais, ciências naturais, etc.). Esta forma de abordagem permite ter o panorama dos padrões de colaboração da ciência em geral.
Período temporal	Estática	Análise das características da rede num dado momento (um ano, por exemplo) ou num dado intervalo de tempo (conjunto de anos).
	Dinâmica	Análise da evolução da rede ao longo do tempo. É conhecido o momento temporal em que cada autor ou instituição entra na rede e em que cada relação de coautoria ou colaboração ocorre.
Âmbito geográfico	Região	Seleção e análise das redes de colaboração dos autores ativos e/ou das instituições localizadas numa dada região.
	País	Seleção e análise das redes de colaboração dos autores ativos e/ou das instituições localizadas num determinado país.
	Escala global	Seleção e análise das redes de autores e instituições a nível mundial. Esta forma de abordagem permite ter o panorama global dos padrões de colaboração internacional e identificar os principais centros (cidades, regiões ou países) de produção de publicações científicas.

Fonte: Ferreira (2012), p. 34.

As principais fontes de informação utilizadas são as bases bibliográficas de carácter global, as bases bibliográficas de repositórios nacionais de informação científica ou de áreas científicas específicas ou, ainda, Jornais/Revistas científicas de referência (Valderrama-Zurián, González-Alcaide et al. 2007).

As bases bibliográficas de carácter global são preferidas dada a sua abrangência e cobertura da produção científica a nível mundial, a nível das diversas áreas do conhecimento ou, ainda, a nível dos Jornais ou Revistas científicas de referência. Os portais bibliográficos disponibilizados pelo *Institute of Scientific Information* (ISI) (Zucker, Darby et al. 2007) e pela *Scopus* são utilizados em vários trabalhos por estes motivos. Alguns autores confrontaram os resultados da análise da informação constante das duas bases (Leydesdorff and Persson 2010, Bornmann, Leydesdorff et al. 2011).

Conceitos de análise de redes sociais e formas de representação das redes

O quadro conceptual utilizado no âmbito da análise de redes sociais baseia-se essencialmente na Teoria de Grafos. Esses conceitos são igualmente aplicados nos estudos sobre redes de coautoria e colaboração institucional.

Cada autor ou instituição considerado(a) constitui um nó da rede. Os autores ou instituições estão conectados sempre que existe, pelo menos, uma publicação científica conjunta entre si (Newman 2001).

A intensidade da colaboração é expressa pela frequência de ocorrência de publicações conjuntas (Barabási, Jeong *et al.* 2002, Tomassini and Luthi 2007, Valderrama-Zurián, González-Alcaide *et al.* 2007, Baur, Brandes *et al.* 2009).

A autoria de uma ou mais publicações por parte de instituições distintas designa-se por colaboração institucional; quando a afiliação institucional de diferentes autores é coincidente diz-se que existe colaboração intrainstitucional; quando as afiliações institucionais se referem a diferentes países ocorre colaboração institucional internacional (Valderrama-Zurián, González-Alcaide *et al.* 2007).

As redes são representadas visualmente sob a forma de grafos ou diagramas de rede, que podem ser construídos com base em diferentes técnicas e algoritmos matemáticos. Nos grafos, os autores ou instituições representam-se por pontos, conectados entre si por linhas. O tamanho dos pontos e a espessura das linhas, bem como as cores associadas a uns e a outras representam propriedades da rede (Scott 2000).

Têm sido também, mais recentemente, realizados trabalhos onde a colaboração entre instituições é representada cartograficamente. O mapeamento das redes permite identificar padrões espaciais de colaboração e acompanhar a sua dinâmica, quando considerada a dimensão tempo, constituindo uma ferramenta de apoio à tomada de decisão ao nível das instituições e, de forma mais geral, ao nível da delineação de políticas em matéria de ciência e tecnologia (Leydesdorff and Persson 2010).

Abordagem metodológica: procedimentos de trabalho e fontes de informação

O quadro de análise seguido neste trabalho (Quadro 2) enquadra-se na abordagem utilizada por outros autores no estudo das redes de coautoria científica e colaboração institucional. Pretende-se obter uma perspetiva evolutiva das redes de dois reputados cientistas portugueses na área das Ciências da Saúde – Alexandre Quintanilha e Manuel Sobrinho-Simões.

A primeira etapa metodológica consistiu na seleção das fontes de informação. Optou-se por confrontar e combinar a informação referente às publicações científicas dos dois cientistas constante dos portais bibliográficos *ISI – Web of Knowledge*, *SciVerse Scopus* e *SciVerse ScienceDirect*, o que permitiu obter assim uma listagem mais completa dos artigos, *proceedings papers* e outros documentos de carácter científico dos autores.

Quadro 2 – Quadro de análise adotado

	Forma de abordagem
Unidade de análise	Autores
	Instituições
Domínio científico de análise	Área científica: Ciências da Saúde
Período temporal	Perspetiva dinâmica
Âmbito geográfico	Escala global

Fonte: Adaptado de Ferreira (2012).

Toda a informação recolhida foi carregada numa base de dados. Sistematizaram-se dados relativos ao nome das publicações e ao ano de publicação, aos autores, às afiliações institucionais e sua localização, bem como à tipologia das instituições.

A representação gráfica das redes foi feita com recurso a duas abordagens complementares. Por um lado, foram representadas cartograficamente as redes entre as instituições e, por outro lado, utilizando métodos de análise de redes sociais, as redes de coautoria e colaboração institucional foram representadas

através de grafos. Foram também calculadas medidas específicas de análise de redes sociais.

A impossibilidade de considerar todos os investigadores desta área científica² levou à seleção de investigadores de referência pela sua reputação e pela influência que exercem no âmbito das Ciências da Saúde em Portugal, em linha com os trabalhos de Lynne Zucker e Michael Darby sobre *star scientists*.

Assim, irão ser analisadas as redes de coautoria e de colaboração institucional do Professor Alexandre Quintanilha e do Professor Manuel Sobrinho-Simões.

A pesquisa baseia-se na análise de 131 publicações de Alexandre Quintanilha e 322 de Manuel Sobrinho-Simões, recolhidas entre inícios de março e a 1ª quinzena de maio de 2012 a partir dos portais *ISI – Web of Knowledge*, *SciVerse Scopus* e *SciVerse ScienceDirect*.

Sendo nosso objetivo analisar as redes de relações e não os resultados propriamente ditos da investigação científica seguiu-se a opção metodológica tomada por Wagner and Leydesdorff (2005), tendo-se considerado todos os tipos de publicações científicas (artigos, *proceedings papers*, notas, cartas editoriais e outros documentos de carácter científico).

Verificou-se, aquando da sistematização da informação recolhida a partir das publicações científicas, a ocorrência de situações de nomes de autores similares aos dos *star scientists* em análise, o que levou a uma análise cuidada dos documentos, com recurso a pesquisas adicionais.

Não foram consideradas para análise das redes as publicações em que Alexandre Quintanilha e Manuel Sobrinho-Simões são os únicos autores.

Houveram casos em que só se teve acesso às referências bibliográficas. As referências nas quais não constava a totalidade de autores ou não havia menção a qualquer afiliação institucional não foram consideradas neste trabalho.

² A falta de acesso a informação sistematizada que permitisse analisar mais investigadores na área das Ciências da Saúde em Portugal condicionou as opções metodológicas tomadas neste trabalho. De referir que foi efetuado um pedido de informação à *Thomson Reuters*, entidade responsável pela *ISI – Web of Knowledge*, não tendo sido obtida qualquer resposta.

Medidas de análise de redes sociais

Os Quadros 3 e 4 sistematizam alguns índices de colaboração e medidas no âmbito da análise de redes sociais mais utilizados em trabalhos anteriores sobre redes de coautoria e colaboração institucional. As medidas encontram-se apresentadas segundo a classificação proposta por Baur, Brandes et al. (2009): as medidas ao nível dos elementos avaliam as propriedades dos nós e arcos; a medida aplicada ao nível dos grupos permite caracterizar a coesão da rede, enquanto as medidas aplicadas ao nível da rede são utilizadas para analisar a sua estrutura global.

Quadro 3 – Índices de colaboração

Índice	Descrição
Índice de colaboração dos autores ou instituições	Número médio de assinaturas ou referências institucionais por publicação científica considerada.
Índice de autores ou instituições por publicação	Relação entre o número de autores ou instituições diferentes e o total de publicações científicas consideradas.

Fonte: Valderrama-Zurián, González-Alcaide et al. (2007).

Quadro 4 – Medidas de Análise de Redes Sociais

Análise ao nível dos elementos	
Medida	Descrição
Grau	Número de nós (autores ou instituições) aos quais cada nó (autor ou instituição) da rede se encontra diretamente ligado. Reflete a maior ou menor extensão da colaboração mantida por cada um dos autores e instituições.
Grau médio	Número médio de nós (autores ou instituições) aos quais cada nó (autor ou instituição) da rede se encontra ligado.
Intermediariedade	Permite medir o grau de extensão na qual um nó se encontra situado entre os outros nós da rede, ou por outras palavras, mede a importância da posição de intermediários dos agentes da rede. É utilizada para aferir o prestígio dos autores ou instituições e a sua capacidade para aceder e controlar o fluxo de informação pela posição intermediária que ocupam.
Proximidade	Mede a proximidade de cada nó a todos os outros nós aos quais se encontra conectado (direta e indiretamente) com base na soma das distâncias dos caminhos mais curtos. Quanto menor o valor desta soma, maior a proximidade de um nó a todos os outros.

Análise ao nível dos grupos	
Medida	Descrição
Coefficiente de aglomeração	Permite avaliar a probabilidade dos vizinhos (autores ou instituições) de um dado nó (autor ou instituição) terem a autoria conjunta de uma publicação.
Análise ao nível da rede	
Medida	Descrição
Número médio de Graus de Separação	Consiste na distância média de separação – medida em número de nós – entre cada par de investigadores ou instituições.
Densidade	Expressa a razão entre as relações existentes e as relações possíveis. Quanto mais nós estiverem conetados de forma direta a outros nós, maior é a densidade.

Fonte: Baur, Brandes *et al.* (2009).

Algumas limitações

Verificou-se que as designações das afiliações institucionais e os seus endereços não estão uniformizados entre as bases bibliográficas utilizadas, tal como descrito em Leydesdorff and Persson (2010). Há casos em que as referências se encontram bastante detalhadas e há outros casos em que só é apresentada a sigla da instituição. A identificação manual das instituições permitiu, até certo ponto, minimizar a ocorrência de erros, através da realização de pesquisas adicionais.

Por outro lado, a confrontação de publicações de um mesmo autor leva-nos a concluir que nem sempre são referenciadas todas as suas afiliações institucionais. Isto constitui, desde logo, um fator de erro no estabelecimento das redes de colaboração institucional a partir das publicações científicas.

Outra situação identificada prende-se com a forma como o nome dos autores aparece identificado nos portais bibliográficos ou nas publicações científicas: regra geral, aparece primeiramente o último nome completo, ao qual se segue a(s) inicial(ais) do(s) primeiro(s) nome(s). Podem ocorrer duas situações distintas: por um lado, diferentes autores que têm em comum o último nome e, por coincidência, também a(s) inicial(ais) do(s) primeiro(s) nome(s) podem ser incorretamente identificados como sendo o mesmo autor, representado

na rede por um único nó; por outro lado, e em situação contrária, o mesmo autor pode ser identificado de diferentes formas em diferentes publicações (bastando variar, por exemplo, o número de iniciais dos primeiros nomes), sendo contabilizado tantas vezes quantas as diferentes formas com que o seu nome aparece (Newman 2001, Barabási, Jeong et al. 2002). Neste trabalho, considerou-se que quando as iniciais dos primeiros nomes dos autores são coincidentes se trata do mesmo autor; quando, inversamente, não são coincidentes, trata-se de diferentes autores.

Ao nível da localização cartográfica das instituições, de referir que nem sempre foi possível determinar as suas coordenadas geográficas exatas, o que acontece sobretudo em instituições internacionais pouco conhecidas para as quais não se conseguiu obter um endereço completo.

Não obstante, existe alguma literatura científica que comprova que a automatização do processo de identificação dos autores e de identificação e localização de instituições é passível de originar mais erros do que se esse processo for feito manualmente (Valderrama-Zurián, González-Alcaide et al. 2007, Leydesdorff and Persson 2010), tal como foi feito neste trabalho.

Resultados

Aqui serão apresentados os resultados da análise evolutiva das redes de coautoria e colaboração institucional dos *star scientists* selecionados.

A rede de coautoria de ambos inicia-se, em termos temporais, antes da rede de colaboração institucional o que se deve ao facto de nos primeiros anos de publicação estes cientistas publicarem apenas com investigadores da sua própria afiliação institucional.

Os períodos temporais que serão apresentados foram determinados com base numa análise ano a ano dos padrões de publicação dos investigadores. O percurso pessoal e profissional marcou a evolução das suas redes.

Relativamente a Alexandre Quintanilha, de referir que 96,2% das 131 publicações analisadas foi publicada em coautoria. A média de assinaturas por

publicação é de 6,5. O índice de autores distintos é de 1,2 por publicação. A média de referências institucionais por publicação é de 4,1. Contabilizando apenas as instituições diferentes o índice é de 0,4 referências institucionais por publicação.

No que diz respeito à colaboração institucional, das 126 publicações realizadas em coautoria 79,4% envolve instituições distintas.

Analisando as redes de Alexandre Quintanilha, verifica-se que até 1991 a rede de coautoria encontra-se segmentada em diferentes grupos (Figura 1). O cientista encontrava-se, nesse período, a residir nos Estados Unidos da América. As suas publicações, de então, são em coautoria com investigadores a trabalhar nesse país. Em 1991, Alexandre Quintanilha vem para o Porto: as suas ligações passam a ser efetuadas marcadamente com autores portugueses. A partir de 1997 dá-se o alargamento da rede, quer em número de nós quer em frequência de ligações. Sobressai, no entanto, um núcleo central estruturador da rede. A rede de coautoria de 2011 caracteriza-se pela existência de dois grupos: um formado por autores a trabalhar no país e o outro formado por autores a trabalhar em instituições estrangeiras.

Quanto à rede de colaboração institucional (Figuras 2 e 3), houve igualmente o alargamento da rede a partir de 1997, com a colaboração entre instituições localizadas em Portugal, na Europa e no continente americano. A rede estrutura-se a partir das 3 afiliações institucionais de Alexandre Quintanilha – o Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar (ICBAS), o Instituto de Biologia Molecular e Celular (IBMC) e a Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto. Em 2011 há uma maior diversidade de ligações de colaboração na Europa. Refletindo a rede de coautoria, a rede de colaboração institucional marca-se pela existência de dois grandes grupos: um composto na sua totalidade por instituições nacionais e um outro constituído principalmente por instituições internacionais. Na sua globalidade, a rede de colaboração institucional de Alexandre Quintanilha é predominantemente europeia. Predominam as Instituições de Ensino Superior, às quais se seguem os Hospitais de natureza pública ou privada (Quadro 5).

Quadro 5 – Tipologia das afiliações institucionais das publicações de Alexandre Quintanilha

Tipo de instituição	Período temporal									
	1979 - 1991		1993 - 1996		1997 - 2010		2011		1979 - 2011	
	n°	% no total	n°	% no total	n°	% no total	n°	% no total	n°	% no total
Empresa/Laboratório privado	0	0,0	0	0,0	1	2,8	0	0,0	1	1,8
Ensino superior	8	80,0	5	83,3	25	69,4	17	73,9	41	74,5
Hospital universitário	0	0,0	0	0,0	2	5,6	2	8,7	2	3,6
Hospital (público ou privado)	1	10,0	1	16,7	7	19,4	3	13,0	8	14,5
Instituto de investigação governamental (nacional ou europeu)	1	10,0	0	0,0	1	2,8	1	4,3	3	5,5
Total	10	100,0	6	100,0	36	100,0	23	100,0	55	100,0

Fonte: Ferreira (2012), p. 76.

Relativamente às medidas utilizadas no âmbito da análise de redes sociais (Quadro 6) de referir o seguinte: o Grau médio de autores e de instituições aumentou, em termos gerais, ao longo do tempo, o que se deve ao alargamento da rede quer devido à entrada de novos autores ou novas instituições quer devido ao estabelecimento de novas ligações de publicação. A Proximidade média da rede de autores e da rede de instituições foi menor no período 1997 – 2010; por outras palavras, foi neste período que se verificou maior proximidade entre um determinado autor e todos os outros autores ou entre uma determinada instituição e todas as outras instituições da rede. O valor do Coeficiente médio foi mais elevado em 2011, o que significa que neste período verificou-se uma maior interconexão, em termos de publicações conjuntas, entre todos os autores e entre todas as instituições da rede. O N° médio de graus de separação foi de cerca de 2 para o período global de publicação de Alexandre Quintanilha. Dado que o número de autores e de instituições varia de período para período considerado não é possível tirar conclusões quanto à Densidade, na medida em que o seu valor é variável consoante a dimensão da rede.

Figura 1 - Rede de coautoria de Alexandre Quintanilha.

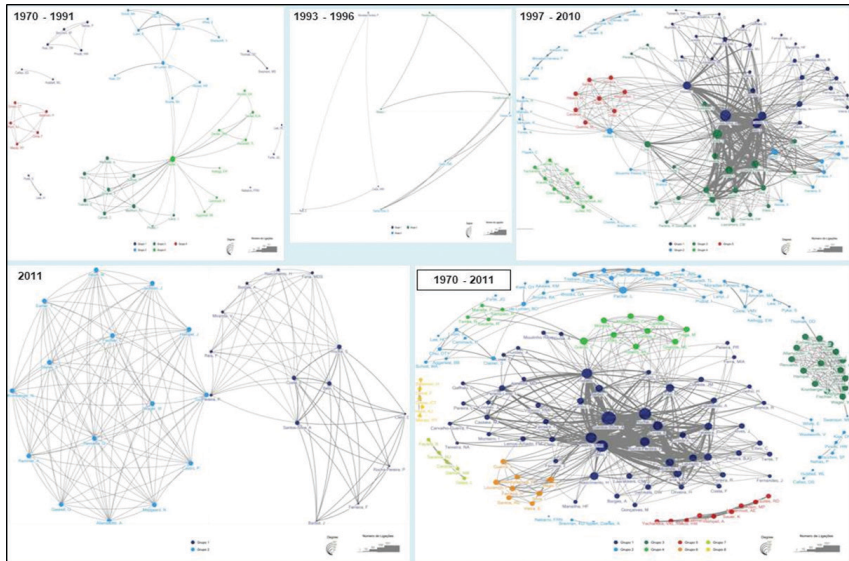
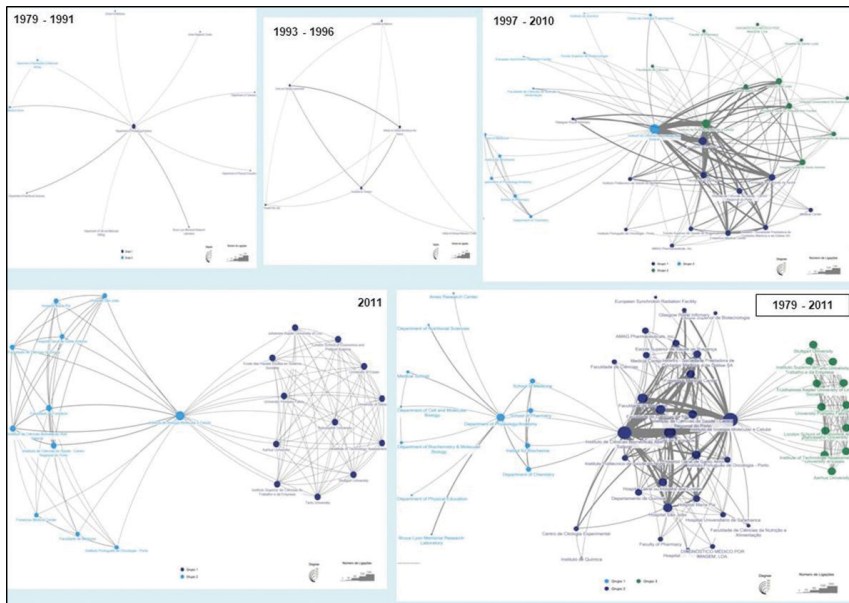
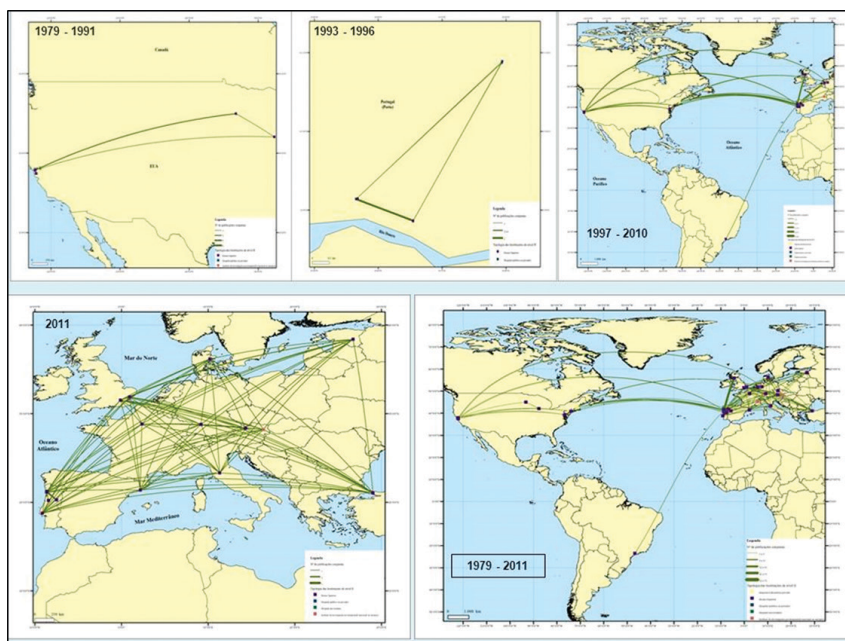


Figura 2 - Rede de colaboração institucional de Alexandre Quintanilha.



Analisando as redes de Manuel Sobrinho-Simões, foram consideradas 322 publicações correspondentes ao período 1974 – 2011. Destas publicações, 96% são em coautoria. O número médio de assinaturas por publicação é de 5,1. O índice de autores distintos é de 1,2 por publicação. A média de referências institucionais por publicação é de 3,0. Considerando apenas as instituições diferentes, o índice é de 0,4 por publicação. Cerca de 85% das publicações publicadas em coautoria (309) envolve colaboração entre diferentes instituições.

Figura 3 - Configuração territorial da rede de colaboração institucional de Alexandre Quintanilha.



Quanto à rede de autores (Figura 4), há um alargamento da mesma a partir de 1982, com o aumento do número de nós. Destaca-se um grupo central de autores. O alargamento intensifica-se no período 1993 – 2003, intensificando-se também as relações entre os investigadores. No período 2004 – 2011 reforça-se esta situação. Em termos globais, a rede de coautoria é mais alargada do que a de Alexandre Quintanilha.

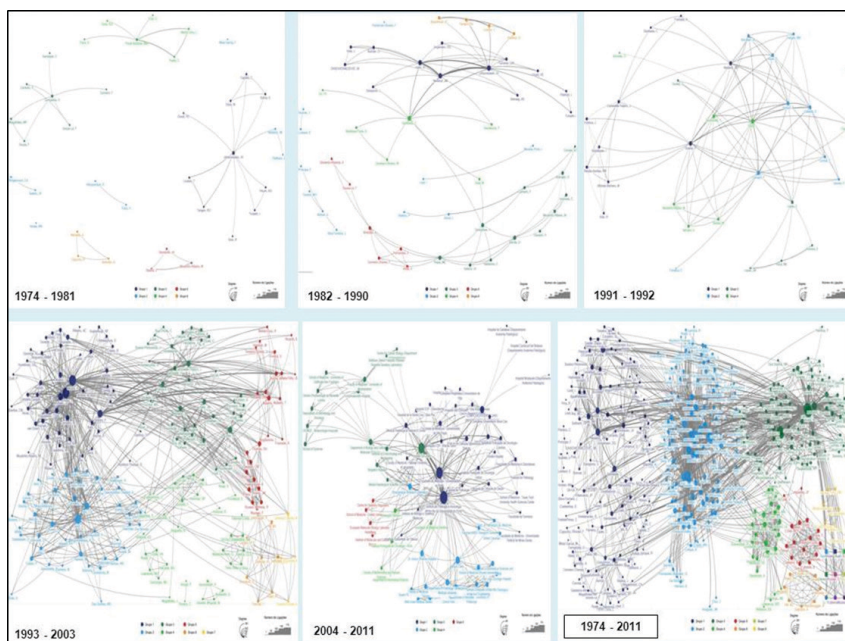
Quadro 6 – Medidas de análise de redes sociais: publicações de Alexandre Quintanilha

Medidas	Rede de Autores					Rede de Instituições				
	Período temporal					Período temporal				
	1970 - 1981	1983 - 1996	1997 - 2010	2011	1970 - 2011	1979 - 1991	1993 - 1996	1997 - 2010	2011	1979 - 2011
Nº de nós	46	10	97	30	158	10	6	36	23	55
Grau médio	5,609	4,200	13,381	13,400	11,544	2,000	3,667	9,353	10,522	9,236
Intermediariedade média	19,696	2,400	41,309	7,800	72,728	3,500	0,667	11,824	5,739	28,709
Proximidade média	0,012	0,074	0,006	0,023	0,003	0,065	0,163	0,018	0,030	0,009
Coefficiente médio de aglomeração	0,907	0,893	0,886	0,946	0,907	0,203	0,839	0,847	0,940	0,760
Nº médio de graus de separação	1,835	1,380	1,841	1,487	1,914	1,600	1,056	1,666	1,456	2,104
Densidade	0,125	0,467	0,139	0,462	0,074	0,222	0,733	0,283	0,478	0,166

Fonte: Adaptado de Ferreira (2012).

Relativamente à rede de colaboração institucional (Figuras 5 e 6), de referir, desde logo, o início do processo de internacionalização no período 1977 – 1981. Neste período, a rede encontra-se estruturada em 2 grupos conectados pela afiliação institucional do *star scientist* – a Faculdade de Medicina da Universidade do Porto –, estendendo-se ao continente europeu e americano e verificando-se, também, a existência de ligações a África. O período de análise seguinte, 1982 – 1990, caracteriza-se pelo fortalecimento das ligações na Europa e nos Estados Unidos da América. Há um alargamento da rede em número de nós. A ligação com os Estados Unidos deixa de constar no período 1991 – 1992, havendo o reforço das ligações de colaboração na Europa. De 1993 a 2003 dá-se o alargamento e a intensificação das ligações na Europa, na Ásia e no continente americano, estando a rede estruturada em diversos grupos. No período 2004 – 2011 ocorre, por um lado, o reforço da rede nacional de colaboração e, por outro lado, a afirmação do processo de globalização da rede.

Figura 4 - Rede de coautoria de Manuel Sobrinho-Simões.



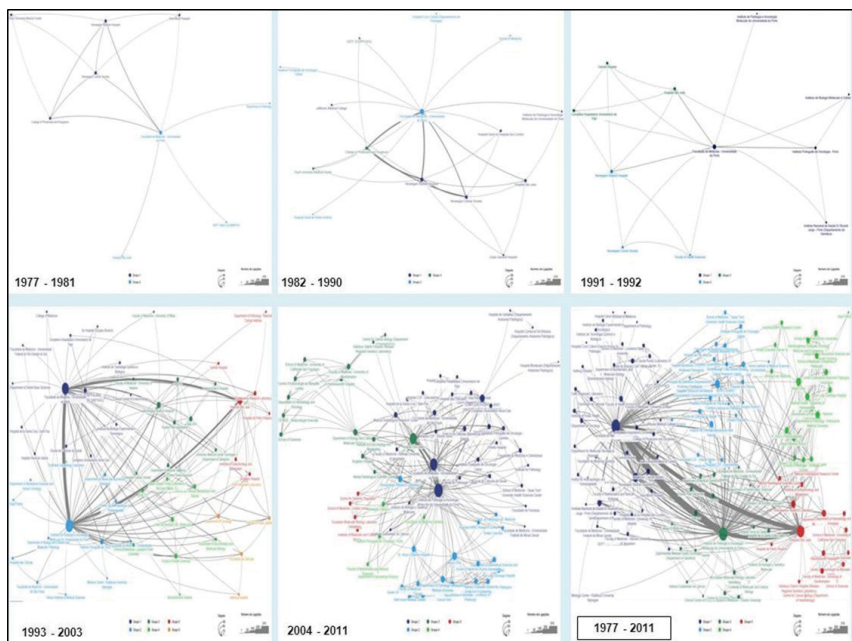
A rede global de colaboração institucional a partir das publicações de Sobrinho-Simões abrange os 5 continentes: Europa, América, Ásia, África e Oceânia. A estruturação da rede é feita a partir das afiliações institucionais do investigador: Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, Hospital de São João e Instituto de Patologia e Imunologia Molecular da Universidade do Porto (IPATIMUP). Em todos os períodos analisados, as tipologias de instituições mais representativas foram as Instituições de Ensino Superior seguidas dos Hospitais públicos ou privados (Quadro 7).

Quadro 7 – Tipologia das afiliações institucionais das publicações de Manuel Sobrinho-Simões

Tipo de instituição	Período temporal											
	1977 - 1981		1982 - 1990		1991 - 1992		1993 - 2003		2004 - 2011		1977 - 2011	
	n°	% no total	n°	% no total	n°	% no total	n°	% no total	n°	% no total	n°	% no total
Empresa/Laboratório privado	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	1,7	0	0,0	1	0,8
Ensino superior	4	44,4	6	40,0	4	36,4	31	53,4	33	45,2	60	48,0
Hospital universitário	2	22,2	3	20,0	2	18,2	9	15,5	3	4,1	12	9,6
Hospital (público ou privado)	2	22,2	5	33,3	3	27,3	10	17,2	27	37,0	35	28,0
Fundação/ONG	1	11,1	1	6,7	1	9,1	1	1,7	1	1,4	2	1,6
Instituto de investigação governamental (nacional ou europeu)	0	0,0	0	0,0	1	9,1	6	10,3	9	12,3	15	12,0
Total	9	100,0	15	100,0	11	100,0	58	100,0	75	100,0	125	100,0

Fonte: Ferreira (2012), p. 92.

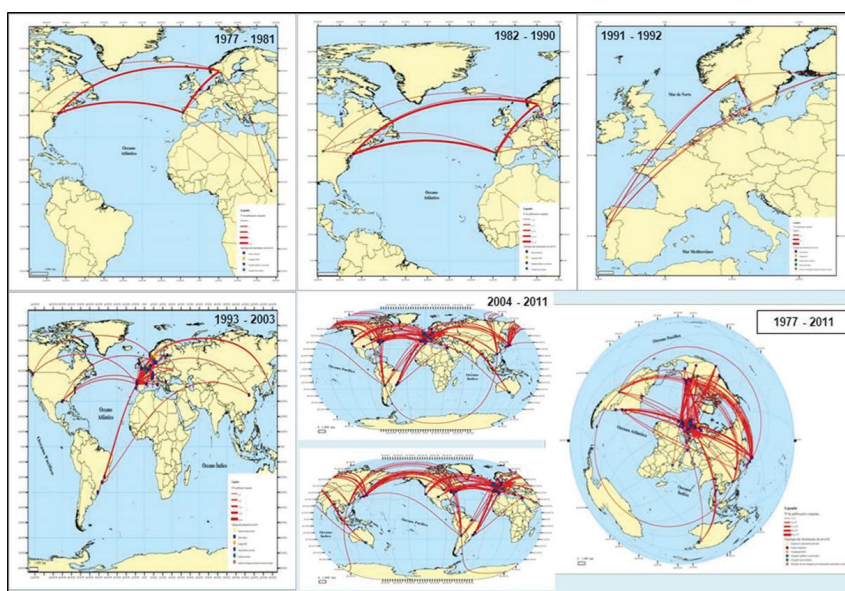
Figura 5 - Rede de colaboração institucional de Manuel Sobrinho-Simões.



As principais conclusões relativas ao cálculo das medidas de análise de redes sociais estão apresentadas no Quadro 8. O Grau médio quer da rede de autores quer da rede de instituições aumentou ao longo do tempo. Os menores valores de Proximidade

média das duas redes verificaram-se no período 1993 – 2011. O Coeficiente médio de aglomeração mantém-se relativamente estável ao longo do tempo, sendo ligeiramente superior no período 2004 – 2011. Tendo em conta o período global de publicação de Sobrinho-Simões, o N^o médio de graus de separação é, em média, de 2, tal como verificado no caso de Alexandre Quintanilha. Também tal como no caso de Alexandre Quintanilha, não é possível tirar conclusões quanto à Densidade.

Figura 6 - Configuração territorial da rede de colaboração institucional de Manuel Sobrinho-Simões.



Quadro 8 – Medidas de análise de redes sociais: publicações de Manuel Sobrinho-Simões

Medidas	Rede de Autores						Rede de Instituições					
	Período temporal						Período temporal					
	1974 - 1981	1982 - 1990	1991 - 1992	1993 - 2003	2004 - 2011	1974 - 2011	1977 - 1981	1982 - 1990	1991 - 1992	1993 - 2003	2004 - 2011	1977 - 2011
N ^o de nós	38	52	33	200	164	392	9	15	11	58	73	125
Grav. médio	3,947	5,615	8,424	11,620	15,012	12,740	3,333	3,733	4,000	6,034	9,151	7,920
Intermediariedade média	16,526	22,692	11,788	93,7	73,994	189,133	2,667	5,467	3,000	26,207	38,753	69,880
Proximidade média	0,014	0,010	0,018	0,003	0,003	0,001	0,078	0,041	0,064	0,009	0,007	0,004
Coeficiente médio de aglomeração	0,863	0,854	0,813	0,866	0,875	0,857	0,497	0,559	0,733	0,855	0,853	0,826
N ^o médio de graus de separação	1,843	1,854	1,684	1,932	1,896	1,962	1,481	1,662	1,455	1,886	2,048	2,110
Densidade	0,107	0,110	0,263	0,058	0,092	0,033	0,417	0,267	0,400	0,106	0,127	0,064

Fonte: Adaptado de Ferreira (2012).

Conclusões

As redes entre investigadores e, através deles, entre instituições são reconhecidas na literatura científica como importantes para os processos de produção e transferência de conhecimento científico. Em diversos trabalhos académicos tem sido aplicada a abordagem egocêntrica de análise de redes sociais, estabelecendo-se as redes de coautoria e colaboração institucional de cientistas de topo – designados de *star scientists* por Lynne Zucker e Michael Darby –, indivíduos reputados e apresentando elevada produtividade científica. As redes de coautoria são estabelecidas a partir das publicações científicas conjuntas e as redes de colaboração institucional são estabelecidas a partir das afiliações institucionais dos autores.

Este trabalho pretendeu contribuir para a análise das redes de coautoria e colaboração institucional específicas de dois reputados investigadores nacionais na área das Ciências da saúde – Alexandre Quintanilha e Manuel Sobrinho-Simões.

Os resultados obtidos enquadram-se em duas formas de abordagem diferentes mas complementares. Por um lado, foram utilizados métodos e técnicas de análise de redes sociais para analisar estruturalmente as redes e representar através de grafos as conexões entre autores e entre instituições. Por outro lado, a representação cartográfica das redes de colaboração institucional permitiu compreender a evolução dos padrões espaciais de colaboração dos dois investigadores.

Da análise efetuada conclui-se que a produção de publicações científicas é uma atividade feita em rede e com o envolvimento de diferentes instituições. Quer Alexandre Quintanilha quer Manuel Sobrinho-Simões iniciaram o seu percurso de publicação nos anos 70 do século XX. No caso de Sobrinho-Simões verificou-se um aumento do número de publicações sobretudo a partir de meados da década de 90; no caso de A. Quintanilha, houve um incremento a partir de inícios do século XXI. O número de autores e de afiliações institucionais varia de publicação para publicação. Os valores referentes ao índice de assinaturas de autores e ao índice de referências institucionais de um e de outro são aproximados. Relativamente à relação entre o número de autores ou o número de instituições distintos e o total de publicações, os índices são de respetivamente 1,2 e 0,4, para ambos. A tipologia de instituições mais representada é as Instituições

de Ensino Superior. Quanto à configuração territorial das redes de colaboração institucional, verifica-se, regra geral, um fortalecimento da colaboração internacional a partir de meados da década de 90. No âmbito da análise de redes sociais, de referir que o Grau médio aumentou ao longo do tempo para os dois investigadores, indo ao encontro do que se verificou em trabalhos anteriores (Barabási, Jeong et al. 2002) e que a distância média de separação entre cada par de autores ou de instituições é curta – 2 nós – tendo em conta o período global de publicação de cada um deles.

Para desenvolvimentos futuros, fica a sugestão da pertinência de alargar esta análise a mais investigadores com publicações na área das Ciências da Saúde em Portugal. Por outro lado, poderá ser pertinente estudar outras formas de colaboração para além da produção de publicações científicas.

Bibliografia

- Andersson Å. E. & Persson, O. (1993). Networking scientists. *The Annals of Regional Science*, 27, 11-21.
- Asheim B. & Coenen L. & Vang J. (2007). Face-to-face, buzz, and knowledge bases, sociospatial implications for learning, innovation, and innovation policy. *Environment and Planning C, Government and Policy*, 25, 655-670.
- Barabási A. L. & Jeong H. & Néda Z. & Ravasz E. & Schubert A. & Vicsek T. (2002). Evolution of the social network of scientific collaborations. *Physica A, Statistical Mechanics and its Applications*, 311 (3-4), 590-614.
- Baur M. & Brandes U. & Lerner J. & Wagner D. (2009). Group-level analysis and visualization of social networks. *Algorithmics*, 5515 LNCS, 330-358.
- Bornmann, L., & Leydesdorff L. & Walch-Solimena C. & Ettl C. (2011). Mapping excellence in the geography of science, An approach based on Scopus data. *Journal of Informetrics*, 5 (4), 537-546.
- Boyack, K. W. & Klavans R. & Börner K. (2005). Mapping the backbone of science. *Scientometrics*, 64 (3), 351-374.
- Cooke, P. (2005). Regionally asymmetric knowledge capabilities and open innovation, Exploring 'Globalisation 2'— A new model of industry organisation. *Research Policy*, 34 (8), 1128-1149.
- Ferreira, C. (2012). Redes de conhecimento na área das ciências da saúde, Análise evolutiva a partir de star scientists nacionais. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Portugal.
- Greer, A. L. (1988). The State of the Art versus the State of the Science, the Diffusion of New Medical Technologies into Practice. *Journal of Technology Assessment in Health Care*, 4, 5-26.

- Higgins, M. J. & Stephan P. E. & Thursby J. G. (2011). Conveying quality and value in emerging industries, Star scientists and the role of signals in biotechnology. *Research Policy*, 40 (4), 605-617.
- Lemieux, V: & Ouimet, M. (2008). *Análise Estrutural das Redes Sociais*. Lisboa: Instituto Piaget.
- Leydesdorff, L. & Persson O. (2010). Mapping the geography of science, Distribution patterns and networks of relations among cities and institutes. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61 (8), 1622-1634.
- Maier, G. & Kurka, B. & Trippel M. (2007). Knowledge Spillover Agents and Regional Development, Spatial Distribution and Mobility of Star Scientists, *DYNREG (Dynamic Regions in a Knowledge-Driven Global Economy)*, 17, 35.
- Moretti, E. & Wilson D. J. (2014). State incentives for innovation, star scientists and jobs, Evidence from biotech. *Journal of Urban Economics*, 79, 20-38.
- Newman, M. E. J. (2001). The structure of scientific collaboration networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98 (2), 404-409.
- Newman, M. E. J. (2004). Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101 (1), 5200-5205.
- Owen-Smith, J. & Powell W. W. (2004). Knowledge Networks as Channels and Conduits, The Effects of Spillovers in the Boston Biotechnology Community. *Organization Science*, 15 (1), 5-21.
- Scott, J. (2000). *Social Network Analysis, A Handbook*. London: SAGE Publications.
- Tomassini, M. & Luthi L. (2007). Empirical analysis of the evolution of a scientific collaboration network. *Physica A, Statistical Mechanics and its Applications*, 385 (2), 750-764.
- Valderrama-Zurián, J. C. & González-Alcaide G. & Valderrama-Zurián F. J. & Alexandre-Benavent R. & Miguel-Dasit A. (2007). Coauthorship Networks and Institutional Collaboration, 60 (2), 117-130.
- Wagner, C. S. & Leydesdorff L. (2005). Network structure, self-organization, and the growth of international collaboration in science. *Research Policy*, 34 (10), 1608-1618.
- Zucker, L. G. & Darby M. R. (1996). Star scientists and institutional transformation, Patterns of invention and innovation in the formation of the biotechnology industry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93 (23), 12709-12716.
- Zucker, L. G. & Darby M. R. (1997). Individual action and the demand for institutions - Star scientists and institutional transformation. *American Behavioral Scientist*, 40 (4), 502-513.
- Zucker, L. G. & Darby M. R. (1997). Present at the biotechnological revolution, transformation of technological identity for a large incumbent pharmaceutical firm. *Research Policy*, 26 (4-5), 429-446.
- Zucker, L. G. & Darby M. R. (2006). Movement of star scientists and engineers and high-tech firm entry. *National Bureau of Economic Research (NBER) Working Paper N. 12172*, 1-56.
- Zucker, L. G. & Darby M. R. & Furner, J. & Liu R. C. & Ma H. Y. (2007). Minerva unbound: Knowledge stocks, knowledge flows and new knowledge production. *Research Policy*, 36 (6), 850-863.