

A organização das redes de pesquisa e da produção científica do laboratório central de nanotecnologia da UFPR

RESUMO

José Henrique Ferreira Pinto
jhenrique@ufpr.br
Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Universidade Federal do Paraná

Noela Invernizzi
noela@ufpr.br
Setor de Educação e Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas
Universidade Federal do Paraná

O desenvolvimento das nanociências e nanotecnologias (N&N) no Brasil foi direcionado pela percepção de sua importância econômica no futuro. Em virtude dos desafios de novas fronteiras da ciência em termos de infraestrutura de pesquisa, no marco da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia, lançada em 2012, foi criado o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO). O SisNANO é uma rede de laboratórios multiusuários para pesquisa, desenvolvimento e inovação em N&N, que inclui laboratórios estratégicos, vinculados ao Governo Federal e laboratórios associados, vinculados a universidades. Este trabalho analisa o impacto do SisNANO na Universidade Federal do Paraná, na sua unidade associada Laboratório Central de Nanotecnologia (LCNano). Indaga-se se a criação deste laboratório multidisciplinar foi capaz de reconfigurar as redes de cooperação para a pesquisa, impactando na produção científica. As análises sobre a produção científica dos pesquisadores integrantes do LCNano e daqueles não integrantes (grupo de controle) foram realizadas mediante técnicas de mineração de textos com o *Software R* com a aplicação do modelo de tópicos. Da amostra da produção científica selecionada, parte-se da análise de palavras, tokens e n-grams com o estudo da frequência e correlação para determinar a emergência de tópicos em nanotecnologia que possam ter sido influenciados pela dinâmica gerada pelo LCNano. Os resultados sugerem que o laboratório foi capaz de reordenar a pesquisa em torno da N&N, criando redes mais interdisciplinares, com as características da emergência de um hub tecnológico.

PALAVRAS-CHAVE: Políticas Públicas. Ciência, Tecnologia e Inovação. Laboratórios. Nanotecnologia. Produção Científica.

INTRODUÇÃO

A nanotecnologia (NT) é uma plataforma tecnológica transversal que já está causando um grande efeito na ciência, na economia e na saúde. O cenário atual é frequentemente descrito como a transição para uma próxima revolução industrial impulsionada pela manufatura avançada, tendo como base a NT e a síntese molecular, com alto potencial para proporcionar soluções aos desafios globais tais como o desenvolvimento de fontes sustentáveis e renováveis de energia, o controle ambiental e inovadores métodos de diagnóstico e monitoramento remoto para o setor de saúde (ROCO et al, 2014).

Desde o início dos anos 2000, a NT tem sido incorporada como área estratégica das políticas de ciência, tecnologia e inovação (PCTI), tanto nos países industrializados como nos emergentes e em desenvolvimento, incluindo o Brasil. A criação de infraestrutura de pesquisa foi um dos eixos dessas políticas, uma vez que equipamentos de última geração são imprescindíveis para a investigação nesta área tecnocientífica emergente.

Nesse contexto, foi concebido em 2012 o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO), uma rede de laboratórios para a pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em nanociências e nanotecnologias, como programa estruturante da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN). A sua lógica estratégica baseia-se na inovação apoiada em conhecimento, aprendizado e cooperação (MALERBA, 2004). Prioriza a relação universidade-empresa (RUE) com o caráter multiusuário e de acesso aberto das instalações, e a formação de redes de pesquisa e inovação. Como a NT de forma geral, toda sua estrutura, mecanismos e incentivos são interdisciplinares e com um viés de convergência científica, o que sugere iniciativas para fazer emergir um sistema de inovação ao redor desta tecnologia de natureza transversal.

O Laboratório Central de Nanotecnologia (LCNano), da Universidade Federal do Paraná (UFPR) é um dos 18 laboratórios regionais associados ao Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO), em uma rede que conta com outros oito laboratórios considerados estratégicos e de âmbito federal. De suma importância não só para a UFPR, mas para toda a região, o LCNano apresenta um modelo multiusuário, integrado e participativo, que agrega a comunidade científica da UFPR envolvida com Nanociências e Nanotecnologia (N&N) em torno da gestão, operação e utilização do laboratório.

Esse movimento convergente da pesquisa e colaboração em torno da NT, induzido pelo LCNano a partir de 2012, tem o potencial de estabelecer uma nova ordem e reconfigurar a dinâmica da pesquisa na UFPR tanto para a NT, especificamente, quanto para as demais áreas de conhecimento que integram os vários laboratórios e centros de pesquisa constituintes do LCNano. Maior cooperação, compartilhamento de infraestrutura de pesquisa e novas relações universidade-empresa podem colaborar para a inovação e difusão tecnológica da NT e das demais áreas científicas correlatas, podendo ainda conduzir o LCNano para uma posição de *hub* tecnológico na UFPR. Entendemos por “*hub*” a referência na linguagem tecnológica a uma parte central de uma rede que recebe sinais e os retransmite para todos os demais nodos da rede. Também é aplicado

para definir ambientes propícios a darem acesso e gerar oportunidades de conexão entre pessoas onde elas possam trabalhar juntas, trocarem informações e criarem, em um movimento sinérgico de transformação com maior amplitude e escopo do conhecimento.

Este trabalho visa avaliar o impacto do LCNano, laboratório associado ao SisNANO da UFPR na dinâmica de pesquisa da UFPR, evidencia por um dos seus resultados principais, a produção científica. Especificamente, indaga-se se a criação deste laboratório multidisciplinar foi capaz de reconfigurar as redes de cooperação para a pesquisa, impactando nas temáticas e características disciplinares/interdisciplinares da produção científica.

A INICIATIVA NACIONAL DE NANOTECNOLOGIA E A CRIAÇÃO DO SisNANO

O Brasil desenvolveu, nas décadas anteriores, uma estrutura científica que resultou ser de extrema importância para a construção das capacidades em NT a partir do ano 2000. As ações para o desenvolvimento de NT se beneficiaram do histórico de uma política sistemática de desenvolvimento de recursos humanos em C&T, desde a década de 1960, e da construção de infraestrutura de pesquisa distribuída em vários laboratórios e empresas públicas orientados ao desenvolvimento de C&T com foco em problemas nacionais, tais como a Fiocruz, a Embrapa e a Petrobras. Por sua natureza interdisciplinar, a NT necessita de uma ampla variedade de capacidades, treinamento e facilidades as quais são fundamentais para sua maturação e para a constituição de uma base para o desenvolvimento industrial.

Dando sequência ao Programa Nacional de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia, estabelecido em 2004, o governo federal, através do MCTI, lança em 2013 a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN), um conjunto de ações que tem por objetivo criar, integrar e fortalecer as atividades governamentais e os agentes ancorados na nanociência e nanotecnologia, para promover o desenvolvimento científico e tecnológico do setor. O foco está na inovação, incentivando, assim, as ações nas áreas de N&N com o propósito de aproximar a infraestrutura acadêmica e as empresas, fortalecendo os laços entre pesquisa, conhecimento e setor privado, com vistas ao aumento da competitividade da indústria no Brasil. Um dos alicerces principais desta política de estímulo ao desenvolvimento da N&N é o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO), programa destinado a criar uma rede de 26 laboratórios selecionados a partir de uma chamada pública do MCTI para receber investimentos prioritários em infraestrutura, de modo a fomentar a pesquisa e o desenvolvimento de nanotecnologias (PLENTZ e FAZZIO, 2013).

A IBN está alinhada com a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI), sendo o objetivo central desta colocar a ciência, tecnologia e inovação como um dos eixos do desenvolvimento do país. Ressaltou ainda o MCTI, à época, que daria alta atenção aos setores de tecnologias da informação, biotecnologia e nanotecnologia consideradas fundamentais para o desenvolvimento da base científica brasileira.

O SisNANO é composto por unidades especializadas e multiusuárias de laboratórios, direcionadas a PD&I em N&N, cuja meta é elevar o Brasil à posição de destaque no cenário mundial, no contexto científico, tecnológico e econômico

no que diz respeito à geração e utilização da nanotecnologia como um dos principais motores do desenvolvimento econômico e social (MCTI, 2012). Está constituído por uma rede de 26 laboratórios, sendo oito (8) Laboratórios Estratégicos e dezoito (18) laboratórios associados. Os primeiros são aqueles subordinados diretamente ao governo federal e alinhados com as oito (8) áreas estratégicas da IBN – Aeronáutica, Aeroespacial e Defesa; Agronegócios e Alimentos; Energia; Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos; Meio Ambiente e Amazônia; Óleo e Gás; Plásticos Nanoestruturados e Saúde Humana. Os 18 Laboratórios Associados são subordinados a instituições científicas e tecnológicas, a maioria localizados em universidades públicas. Os laboratórios que integram o SisNANO têm prioridade nas Políticas Públicas de apoio à infraestrutura de laboratórios e formação de recursos humanos altamente qualificados, de acordo com as diretrizes da ENCTI (MCTI, 2012).

O sistema propõe movimentar as empresas situadas no Brasil apoiando suas atividades com a oferta de serviços de laboratório, além de ampliar a infraestrutura já existente e universalizar o acesso à comunidade científica brasileira. Os laboratórios têm autonomia para se organizar, dentro das normas pautadas pelas diretrizes do Comitê Interministerial de Nanotecnologia (CIN). O Comitê foi instituído pelo MCTI em 2012, e tem como missão assessorar os Ministérios representados no Comitê na integração da gestão e na coordenação, bem como no aprimoramento das políticas, diretrizes e ações voltadas para o desenvolvimento das nanotecnologias no país (MCTI, 2012a).

No âmbito da Universidade Federal do Paraná (UFPR), o LCNano foi aprovado em 2012 para integrar, como laboratório associado, a plataforma do SisNANO. Recebeu recursos financeiros para investimentos em infraestrutura de pesquisa em N&N em um processo que demandava um planejamento integrado da pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e processos e a geração de patentes incluindo parcerias com o setor produtivo para a inovação.

Tem como principais estratégias: (i) consolidar a UFPR como referência Regional e Nacional em pesquisa em N&N de acordo com as demandas dos diferentes públicos, tanto do setor privado como público, com foco na produção, manipulação, caracterização e aplicações de nanopartículas; (ii) promover a formação e capacitação de recursos humanos, a educação em nanotecnologia e sua divulgação, e (iii) prestar serviços para empresas e instituições de pesquisa. Para tanto, inicialmente, o LCNano foi constituído por uma infraestrutura de pesquisa voltada para o desenvolvimento de NT nas áreas de alimentos, águas, celulose, materiais e dispositivos e na aplicação destes materiais nas áreas de desenvolvimento de energias renováveis, sensores, saúde e nanobiotecnologia.

OS LABORATÓRIOS NO CONTEXTO DAS POLÍTICAS DE INOVAÇÃO

Dosi (1988, p. 222) define a atividade inovadora como “um conjunto de processos de busca, descoberta, experimentação, desenvolvimento, imitação e adoção de novos produtos, novos processos e novas técnicas organizacionais”. Conforme Guimarães e Azambuja (2010, p.98) “a questão [da inovação] ganha novos contornos no contexto dos países em desenvolvimento, cuja realidade não pode ser comparada a dos países que estão na fronteira do conhecimento tecnológico”.

A política de inovação é a ação pública que estimula a mudança tecnológica e outros tipos de inovação, incluindo as políticas de P&D, tecnológica, de infraestrutura, regionais e de educação, seguindo mais à frente da política de ciência e tecnologia e partindo de um conjunto maior de políticas conhecidas como políticas industriais. Em todo o mundo, os países buscam fomentar o crescimento econômico baseado na inovação, e nesse contexto, os governos formulam políticas visando a co-criação e co-modelação de mercados (MAZZUCATO, 2017).

Em um ambiente cada vez mais competitivo, globalizado e de crescente desenvolvimento tecnológico, a interação entre os vários atores governamentais, privados, de ensino-pesquisa-desenvolvimento-inovação e da sociedade em geral traz novas exigências que moldam e reconfiguram a dinâmica da inovação. O conhecimento científico, com todas suas formas de apropriação, pode ser considerado não somente um dos pilares que sustentam o desenvolvimento econômico e social, mas como o seu insumo mais importante (ETZKOWITZ e LEYDESDORFF, 2000). Nesse contexto, as atividades de pesquisa e serviços prestados pelos laboratórios das universidades, ganham novos contornos e papel de destaque para ampliar a relação entre as universidades e as empresas. Segundo o autor, intensificar esse mecanismo de transferência de tecnologia resulta em uma alternativa eficaz para as empresas promoverem a inovação e para as universidades obterem fontes complementares de recursos para a pesquisa.

Examinando os desafios dos países em desenvolvimento que buscam avançar via *catching-up* no contexto de fronteiras tecnológicas que se deslocam rapidamente, como no caso da NT, Motoyama et al (2004) argumentam que a acumulação de aprendizados e competências advindas das formas adaptativas e do aprender fazendo e pelo uso, não serão suficientes. Os autores sustentam que resulta necessário um forte engajamento em P&D, capitaneado pelos laboratórios das universidades, no aprender pela pesquisa e aprender pela interação.

Os laboratórios das universidades contribuem para a capacitação, o acompanhamento e a interação do conhecimento tecnológico, tendo um papel importante como instrumentos da política científica e tecnológica. Nas décadas de 1960 e 1970, grande parte dos laboratórios públicos apenas prestava suporte às atividades governamentais regulando e definindo políticas, especialmente nas áreas de saúde, defesa e meio ambiente (DALPE e ANDERSON, 1993).

Warrant (1991) defende que, no processo de inovação, os laboratórios públicos das universidades, para obterem resultados econômicos e sociais importantes, devem conduzir a maior parte dos recursos para a pesquisa aplicada em cooperação com a indústria. A partir da década de 1980, nota o autor, a ênfase na transferência e comercialização das inovações desses laboratórios e a exploração do trabalho cooperativo passaram a ser a tônica das políticas públicas dos países desenvolvidos. Esse estímulo à cooperação e à colaboração entre laboratórios e indústrias, visando o aumento do nível de competitividade industrial dão origem a novas redes de inovação. Essas redes, como explica Castells (2002, p.565), “constituem a nova morfologia social de nossas sociedades, e a difusão da lógica das redes modifica de forma substancial a operação e os resultados dos processos produtivos e de experiência, de poder e de cultura”. É nesse sentido que há a necessidade das empresas se tornarem

mais próximas com as universidades procurando oportunidades nos laboratórios de pesquisa (SANTANA e PORTO, 2009).

Entretanto, essas interações devem ocorrer num ambiente que estimule a inovação tecnológica em tecnologias de ponta. Para Matias-Pereira e Kruglianskas, (2005), as universidades públicas brasileiras possuem centros de pesquisa com laboratórios de excelência científica, porém seus resultados de pesquisa apresentam ainda baixa transferência de novas tecnologias para o setor produtivo, o que faz com que os serviços e produtos produzidos no país sejam pouco competitivos no mercado interno como também no externo.

Conforme Hage (2011) as tecnologias inovadoras, geralmente aparecem da combinação de múltiplas especialidades, habilidades e conhecimentos que são incitados pela colaboração interorganizacional através das atividades de pesquisa dos seus laboratórios. O estudo de Gertner (2012) mostra que, inclusive no passado, quando a integração vertical dominava as estratégias das empresas dos Estados Unidos, muitos dos laboratórios de pesquisa mais produtivos, cooperavam transversalmente para gerar inovações. Keller, Block e Negoita (2017) relatam que os Estados Unidos têm concentrado esforços para aprofundar as parcerias entre cientistas do governo e do setor comercial tomando uma série de medidas legislativas para facilitar a colaboração entre os laboratórios e agências do setor privado, incluindo acordos cooperativos de pesquisa e desenvolvimento. Dentre estas medidas estão acordos de uso, proprietários ou não, de instalações, que permitem a parceiros não federais acesso a equipamentos de laboratórios e cientistas e, mais recentemente, Acordos para a Comercialização de Tecnologia (ACT), um programa piloto criado para minimizar as barreiras à cooperação com empresas privadas.

É esperado que os laboratórios provejam normalmente conhecimentos ou tecnologias únicas e que não existem no mercado, por isto a inexistência de concorrentes no setor privado é um dos critérios que os laboratórios se obrigam a conferir antes de aprovar um acordo. E, nos casos em que há concorrência por um acordo, os concorrentes de um laboratório não são empresas privadas e sim outras unidades de pesquisa federais. Os laboratórios comumente praticam uma fórmula facilitadora no apoio as novas tecnologias que as empresas privadas acreditam ter um potencial de mercado, em um processo onde os laboratórios não “selecionam vencedores”, mas facilitam o desenvolvimento ou certificam a viabilidade de ideias que surgem de parceiros externos (KELLER, BLOCK e NEGOITA, 2017, p.128).

Políticas públicas para inovação não devem focar apenas na P&D, mas também em outros ativos complementares que impactam as atividades dos laboratórios, como as questões de *path-dependence* – isto é, a sequência de escolhas é condicionada pelo resultado das escolhas anteriores; de *lock-in* – situações de ineficiência e restrições de desenvolvimento que estão aprisionadas por decisões passadas, e que por vezes redundam num processo de concorrência entre tecnologias; e de inércia – situações em que falhas de mercado restringem, ou até mesmo impedem, as mudanças necessárias para o estabelecimento de tecnologias mais eficientes. Todos esses aspectos são relevantes para a apropriabilidade e a difusão tecnológica (HELLER, 2006).

METODOLOGIA

Com o objetivo de medir o impacto no LCNano na criação de uma nova rede de pesquisa e cooperação, traduzida em produção científica, no âmbito da UFPR, foram utilizadas várias fontes de dados, são elas:

- Base de Currículos Lattes-CNPq (LATTES, 2019)
- Diretório dos Grupos de Pesquisa, DGP-CNPq (DGP, 2019)
- Relatório Técnico do LCNano (LCNANO, 2018)
- Site do MCTI-SisNANO
- Base Scopus (SCOPUS, 2019)
- Base Crossref (CROSSREF, 2019)
- Portal de periódicos CAPES (CAPES, 2019)

Após a extração, os dados foram organizados em dois tipos principais:

- Redes e colaboração: coautoria em publicações científicas e grupos de pesquisadores, advindos do Lattes-CNPq e DGP;
- Produção científica: título, autores, área da produção, palavras-chave, resumo e texto completo da publicação, advindos do Lattes, Scopus e Crossref;

No contexto deste trabalho, os dois grupos de dados estão relacionados às implicações da implantação do programa SisNano.

Para auxiliar o entendimento do conjunto de publicações considerado, foram utilizadas técnicas de mineração de texto como análise de frequências de palavras e nuvens de palavras, utilizando o *Software R*. Além de analisar o quanto um termo é frequente em diferentes grupos de publicações, identificam-se quais termos são mais citados em um grupo em particular, mas são pouco citados nos demais grupos. Por exemplo, “tecnologia” pode ser muito citado em publicações de pesquisadores de NT, mas também em várias outras áreas. Já um termo como “nanopartículas” é muito mais citado em produções da NT relativo a outras áreas. Para identificar estes termos utilizamos o índice *tf-idf* (do inglês *term-frequency/inverse-term-frequency*) que multiplica a frequência de um termo (*tf*) pelo inverso da frequência (*idf*), onde o *idf* é menor caso o termo seja bastante citado nos outros grupos considerados (SILGE e ROBINSON, 2017).

O modelo de tópicos é um *framework* estatístico que permite entender uma grande coleção de documentos, não pelo entendimento de documentos individuais, mas entender os temas presentes na coleção e contribuindo para responder perguntas gerais sem a intervenção humana. Na modelagem de tópicos a palavra “tópico” assume o significado específico de uma distribuição de probabilidade sobre as palavras, e ao mesmo tempo remete ao significado mais geral de um tema ou assunto do texto. Em outras palavras, dado um conjunto de documentos (por exemplo publicações científicas) o modelo constrói automaticamente um dado número de tópicos considerados mais representativos, conforme a frequência de termos em cada documento. Um tópico é definido por termos mais relevantes, por exemplo “nanopartículas”, “nanocompósitos” e “nanofilmes” possuem grande pertinência beta a um tópico envolvendo NT. Da mesma forma, um documento é formado pela união de diferentes tópicos, por exemplo um artigo propondo a utilização da NT para um problema da biologia possui maior pertinência gamma a tópicos envolvendo NT e biologia.

Os fundamentos do modelo, origens e técnicas de aplicação que são utilizados nesta metodologia estão de acordo com dois trabalhos seminais publicados recentemente. O primeiro é de Jordan Boyd-Graber, Yuening Hu e David Mimno sobre aplicação do modelo de tópicos: *Applications of Topic Models* (BOYD-GRABER, HU e MIMNO, 2017), e o segundo de Julia Silge e David Robinson sobre mineração de textos: *Text Mining with R – A Tidy Approach* (SILGE e ROBINSON, 2017). No trabalho, modelos de tópicos foram utilizados com o objetivo de detectar de forma automática os temas emergentes com base nos textos das publicações.

Para a construção de métricas estatísticas, visualizações da informação e modelos de tópico no *Software R*, foram utilizados os pacotes de *software* tidytext, widyr, dplyr, tidyr, ggplot2, ggraph, igraph, gutenbergr, topicmodels, reshape2, broom, malletjava, lubridate, stringr e bibliometrix. O *Software R* é um ambiente de software livre para computação estatística e gráficos e tanto a aplicação quanto seus pacotes de *software* podem ser obtidos por download diretamente na página internet do projeto em <https://www.r-project.org/>, ou em <https://cran-r.c3sl.ufpr.br/>.

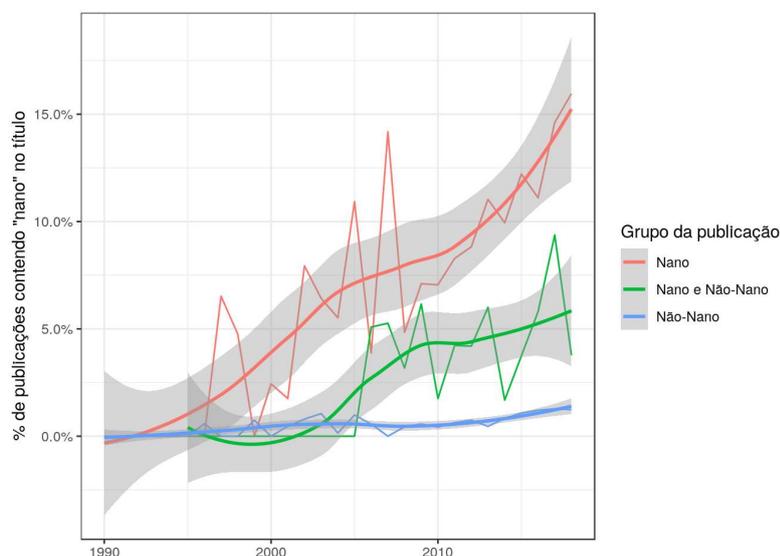
Os resultados foram depreendidos do currículo Lattes de 42 pesquisadores vinculados ao LCNano e 340 pesquisadores do grupo de controle. Dessa população, foram obtidas 22.747 publicações, sendo 3.128 (14%) envolvendo exclusivamente pesquisadores do LCNano, 1.357 (6%) publicações com autores que pertencem ao LCNano juntamente com outros autores que não pertencem ao laboratório, e 18.262 (80%) publicações com autores exclusivamente do grupo de controle.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Análise sobre os títulos e palavras-chave

A primeira análise sobre os dados das publicações é a respeito dos títulos e palavras chave. Títulos de publicações que envolvem o radical “nano” são muito provavelmente relacionadas à NT. A Figura 1 mostra o percentual de publicações com “nano” no título para os diferentes pesquisadores ao longo do tempo. Nota-se que havia publicações relacionadas à NT realizadas pelos integrantes do LCNano mesmo antes do ano 2000. Houve um crescimento no número de publicações relacionadas com a NT, tanto daquelas com autoria de integrantes do grupo nano como aquelas de autoria do grupo não nano, por volta do ano de 2005, logo após a implementação do Programa Nacional de Nanotecnologia; e o interesse em NT vem crescendo nos três grupos, principalmente a partir do ano 2010, com muito maior dinamismo das produções relativas a NT para o grupo nano.

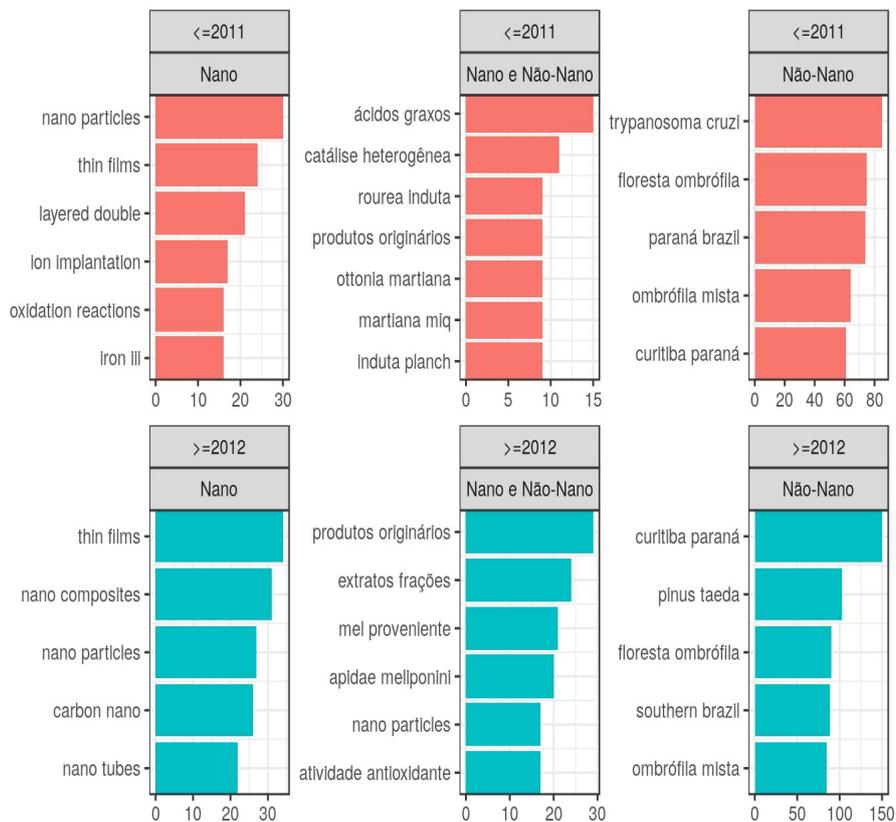
Figura 1: Percentual de publicações com “nano” no título ao longo do tempo, para cada grupo de pesquisadores.



Fonte: os autores

Para obter melhor contextualização dos temas referidos, a Figura 2 apresenta a mesma análise de frequências, mas desta vez considerando duplas de palavras. O grupo nano aparece com várias ocorrências relacionadas à NT mesmo no período pré LCNano (≤ 2011), como “*nano particles*” e “*thin films*”, o que era esperado pois o LCNano partiu de uma infraestrutura já existente que atuava, embora dispersa, na área de N&N. No segundo período, todas as duplas de palavras mais frequentes fazem referência a algum termo relacionado a NT. Títulos contendo “*nano particles*” também se tornam mais comuns no segundo período em publicações envolvendo pesquisadores do LCNano com outros pesquisadores de fora do laboratório. Os dados sugerem que houve uma maior participação de pesquisadores do grupo não nano com produções relativas a NT em conjunto com pesquisadores do grupo nano. Isto pode significar que mais áreas e especialidades, além daquelas contempladas no LCNano, foram envolvidas nos temas da pesquisa realizada nesse período devido à interdisciplinaridade das questões da NT, exigindo conhecimentos complementares aos dos pesquisadores do laboratório. As produções exclusivas do grupo de controle (Não Nano) não possuem tantas menções à NT nos títulos, apenas observamos que termos como “*trypanosoma cruzi*” perderam popularidade no segundo período.

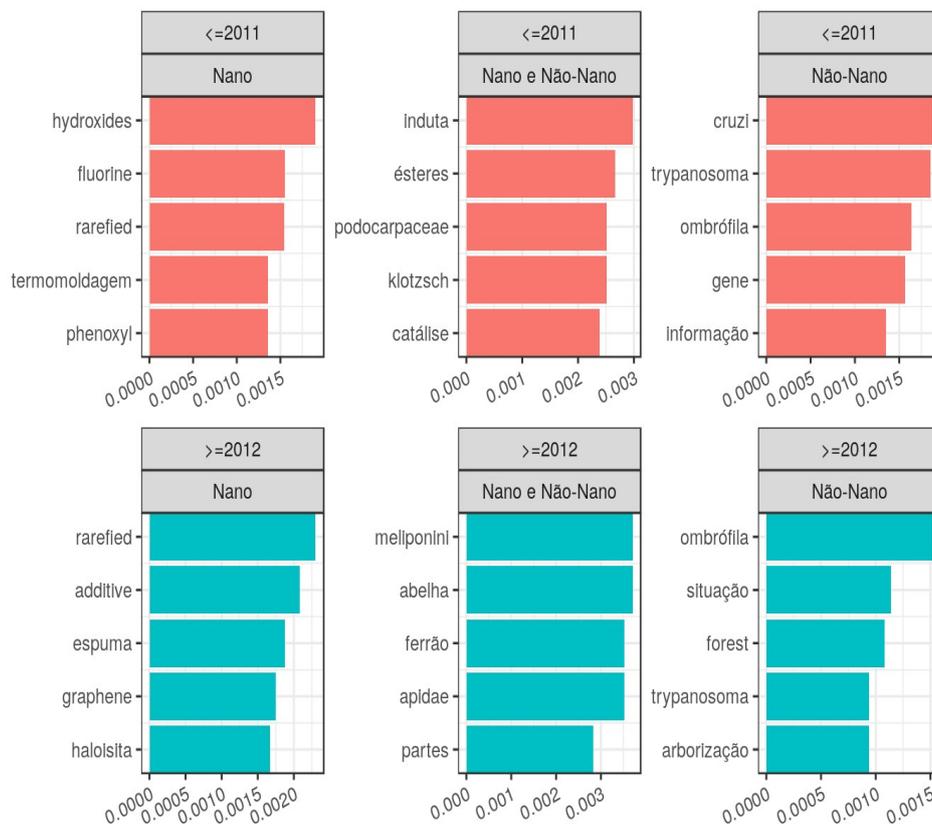
Figura 2: Frequência de duplas de palavras contidas nos títulos das publicações de cada grupo, em cada período.



Fonte: os autores

Com o objetivo de encontrar os termos mais relevantes de cada período, observamos os termos com maior índice tf-itf por período na Figura 3. Percebemos que para o grupo de pesquisadores do LCNano, os termos “hidroxides”, “fluorine” e “termosoldagem” perdem relevância no segundo período, no qual se destacam palavras como “additive” e “graphene”. Isso mostra que pesquisas com o termo “graphene” no título, relacionado à NT, são mais frequentes no segundo período relativo à sua frequência no primeiro período. Para os demais grupos, pesquisas relacionadas com apicultura (“abelha”, “ferrão”, etc.) são próprias do segundo período no conjunto de publicações não exclusivas de pesquisadores LCNano.

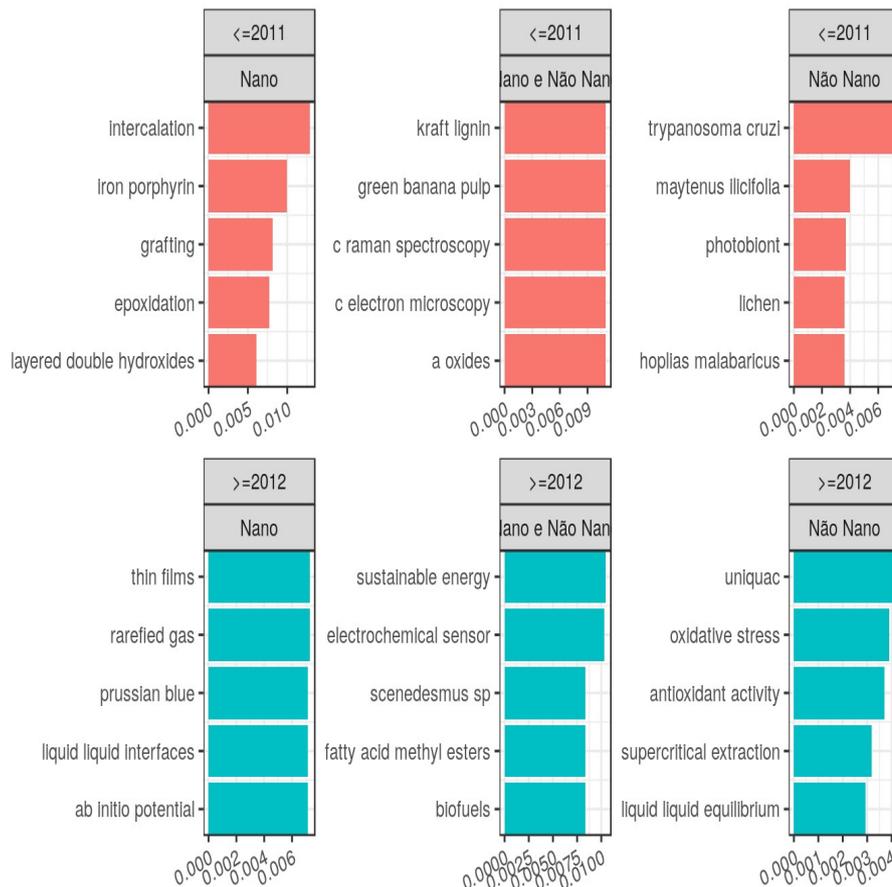
Figura 3: Palavras com maior tf-idf contidas nos títulos das publicações de cada grupo, calculado para cada período.



Fonte: os autores

A Figura 4 mostra as palavras-chave com maiores índices tf-idf de cada período e grupo de autores. Destaca-se que, para o grupo de pesquisadores LCNano, a palavra-chave *“thin films”* é relativamente mais frequente no segundo período, após a implantação do laboratório. Este termo é citado nas produções relativas à síntese de grafeno e caracterização de materiais nanoestruturados. Nas publicações compartilhadas com outros pesquisadores, o segundo período se destaca com *“sustainable energy”* e *“biofuels”*. Estes termos são citados em produções relacionadas à síntese de nanocatalisadores aplicados na produção de biogás. Nas publicações que não envolveram pesquisadores do LCNano, palavras-chave como *“trypanosoma cruzi”* foram relevantes no primeiro período enquanto, no segundo período, processos da química como *“uniquac”* são relativamente mais citados. Os dados sugerem que no período após a implantação do LCNano houve um crescimento na produção científica relacionada a NT, com novas áreas e especialidades antes não contempladas, bem como uma maior rede de colaboração envolvendo pesquisadores do grupo não nano, possivelmente por contribuírem com especialidades exigidas pela multidisciplinaridade da NT.

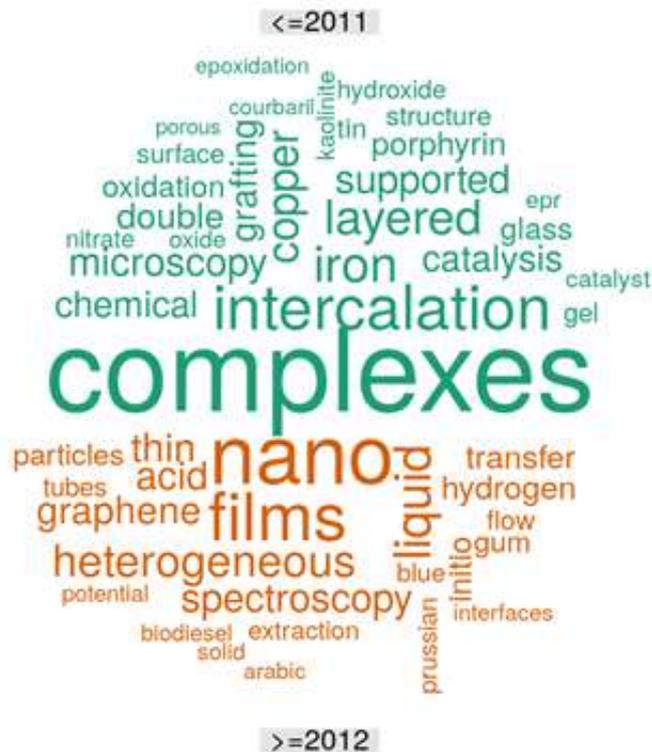
Figura 4: Palavras-chave com maior tf-iftf de acordo com período e grupo autores das produções.



Fonte: os autores

A Figura 5 apresenta uma nuvem de palavras comparando palavras-chave nos dois períodos das publicações exclusivas do LCNano. Destaca-se a transição de palavras como “complexes”, “iron” e “intercalation” para “nano”, “films”, “graphene” e “spectroscopy”. Este resultado reforça o anterior sobre o deslocamento da pesquisa dos pesquisadores do grupo nano, para temas mais relacionados a NT e uma maior diversidade de áreas e especialidades envolvidas. Neste grafo fica mais claro a importância dos temas da NT como grafeno, relacionado à síntese e caracterização de nanopartículas e de materiais nanoestruturados de carbono e dos filmes finos usados em técnicas de produção de nanoestruturas por deposição em superfícies. Destaca-se também a palavra “spectroscopy”, relativa a técnicas de espectroscopia, largamente utilizada na identificação e caracterização de nanopartículas, nanomoléculas e materiais nanoestruturados.

Figura 5: Palavras-chave com maior tf-idf de acordo com período e grupo autores das produções.



Fonte: os autores

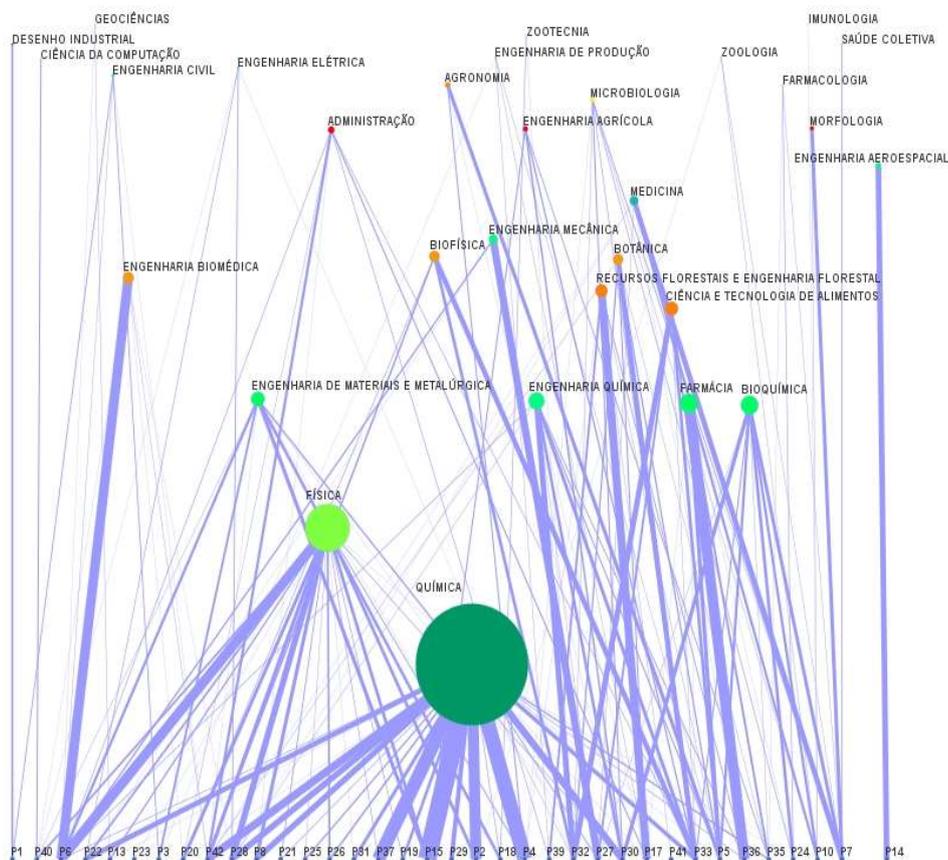
- Análise sobre as redes de colaboração

As redes de colaboração foram determinadas e analisadas através da identificação de autoria e coautoria no corpus da produção científica (como descrito na metodologia) dos 42 pesquisadores do LCNano. Para cada produção com pelo menos um autor do grupo dos pesquisadores nano foi estabelecida a relação com as respectivas áreas, subáreas e especialidades dos demais autores. Esta matriz foi analisada com o *software* RedeR para obtenção gráfica da rede de colaboração e suas respectivas áreas, com o propósito de observar se entre os dois períodos analisados houve algum deslocamento da pesquisa, a emergência de áreas de pesquisa em NT e se o escopo da pesquisa que envolve áreas da NT foi ampliado com o envolvimento de novas áreas, subáreas e especialidades que não estivessem presentes inicialmente, no período anterior ao LCNano.

Redes de coautorias (anonimizadas)

A Figura 6 mostra o grafo da relação entre os pesquisadores nano e as áreas de pesquisa que envolveram os demais autores, no conjunto da produção científica no período <2011. Esta rede foi obtida aplicando o algoritmo de estrutura hierárquica de rede. Nesta modelagem os pesquisadores estão na parte inferior do grafo e relacionam-se com as áreas dos demais autores de uma produção. O peso do nodo que representa as áreas é proporcional ao número de publicações daquela área. O peso das arestas é proporcional ao total de autores que foram relacionados com a respectiva área.

Figura 6: Rede de colaboração com modelagem hierárquica, período <2011

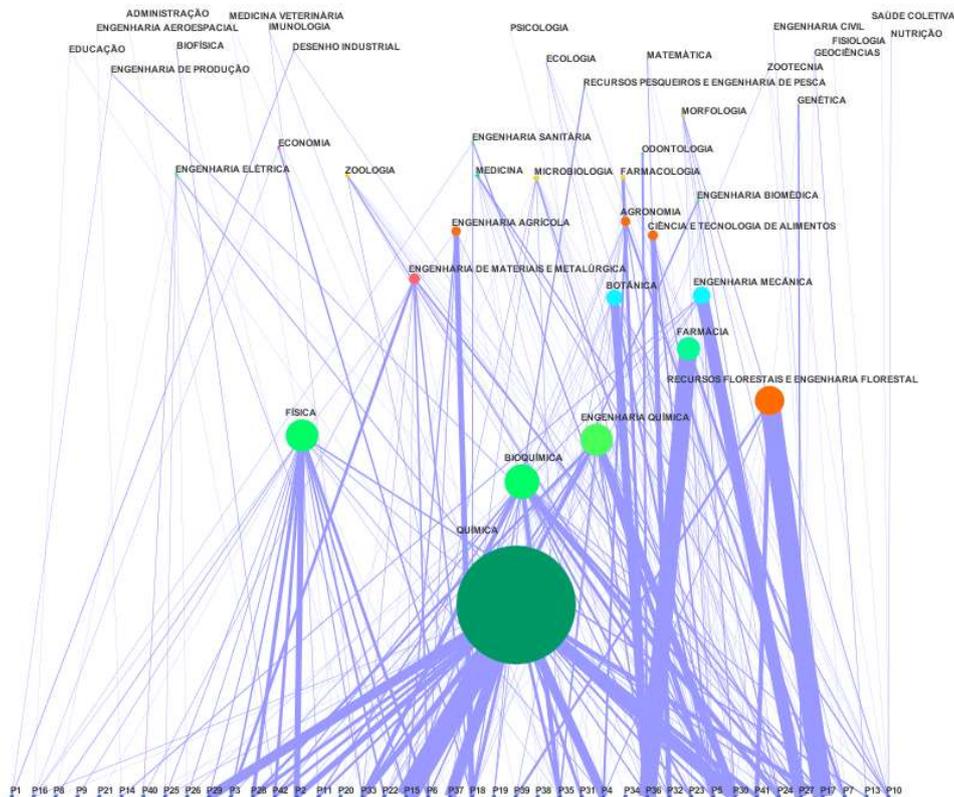


Fonte: os autores

O grafo mostra que as duas principais áreas da rede são a química e a física, seguidas das áreas de engenharias química e de materiais e metalurgia, farmácia e bioquímica, o que é compatível com as principais áreas do grupo de pesquisadores nano. As cores dos nodos da rede servem para identificar aqueles de mesmo peso na rede, ou seja, que possuem aproximadamente o mesmo total de produções naquela área onde autores do grupo nano possuem coautoria com autores de outras áreas não nano. Pode-se observar a centralidade da área de química, o que significa que os pesquisadores com autoria de produções nesta área envolvem poucos pesquisadores de outras áreas.

A Figura 7 apresenta as mesmas definições de topologia da Figura 6, porém aplicada para o período >2011.

Figura 7: Rede de colaboração com modelagem hierárquica, período >2011



Fonte: os autores

Neste período após 2011 em que a pesquisa foi realizada no contexto da operação do LCNano, ainda predomina a área de química, mas com um certo deslocamento influenciado pelas áreas localizadas mais à direita no grafo da rede. Também pode-se observar que a área de física reduz sua representatividade equiparando-se a seis áreas que emergem como mais representativas. São as áreas de bioquímica, engenharia química, recursos florestais e engenharia florestal, farmácia, engenharia mecânica e botânica. Isto significa que os mesmos pesquisadores do grupo nano com produções na área de química passam a ampliar sua rede de colaboradores envolvendo pesquisadores das outras áreas. Outro dado significativo é a emergência de outras 12 novas áreas de pesquisa que não existiam no período anterior a 2011, o que demonstra a ampliação do escopo da pesquisa que envolve os pesquisadores do grupo nano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos sugerem que o LCNano trouxe mais interdisciplinaridade para a pesquisa em N&N pois no período após a implantação do laboratório, a partir de 2012, a produção científica do conjunto de seus pesquisadores migra das áreas mais específicas, próximas das áreas de formação do pesquisador, para subáreas e especialidades que envolvem outras áreas. Emergem novos tópicos de pesquisa em N&N e a rede científica entre os pesquisadores torna-se mais multidisciplinar.

Os dados sugerem que o LCNano é um ambiente favorável para o desenvolvimento da N&N na UFPR, estimulando a formação de redes de P&D e ampliando o escopo da pesquisa em NT, o que se refletiu na emergência de novos tópicos na produção científica após a criação do laboratório e em uma maior participação de pesquisadores não vinculados ao laboratório nas questões da nanotecnologia. Os dados também sugerem, ainda que de forma incipiente, que o LCNano apresenta as características de um Hub tecnológico na UFPR, conforme descrito por Battard (2012).

Os resultados da implantação do laboratório evidenciam a relevância da pesquisa em NT para resolver problemas que se apresentam na sociedade, como impactos ambientais relacionados às questões da disponibilidade e consumo de água, das energias renováveis oriundas de resíduos, células solares e biogás. Nas áreas de saúde e nutrição novas NT foram obtidas com nanoquitosana e nanocelulose na conservação de frutas e alimentos e no desenvolvimento de bebidas funcionais.

Através da produção científica analisada nesse período, após 2011, não foi possível demonstrar se houve ampliação da relação universidade-empresa, incluindo prestação de serviços e transferência tecnológica do laboratório para as empresas. Assim, não é possível avaliar, se a meta do programa SisNANO de ampliação da relação universidade-empresa foi atingida.

Muito embora seja bastante evidente, a partir da análise da produção científica, que o LCNano conseguiu criar uma nova dinâmica de pesquisa em N&N na UFPR atraindo mais especialidades e pesquisadores para esta área interdisciplinar, e que muitas áreas de pesquisa contribuem potencialmente para a inovação no setor produtivo, não é possível avaliar se o LCNano teve impactos na inovação e difusão tecnológica. De um lado, o período transcorrido desde a implementação do laboratório é curto, e pode ter sido insuficiente para que novos resultados da pesquisa estejam prontos a serem publicados e transferidos. De outro lado, pesquisas complementares, utilizando outras técnicas são necessárias para captar estes efeitos.

The organization of research networks and scientific production of the central nanotechnology laboratory at UFPR

ABSTRACT

The development of Nanosciences and Nanotechnologies (N&N) in Brazil was driven by the perception of their importance for the competitive environment in the future. Given the challenges posed by the new frontiers of science regarding research infrastructure, the National System of Nanotechnology Laboratories (SisNANO) was created as part of the Brazilian Nanotechnology Initiative, launched in 2012. SisNANO is a network of multiuser laboratories for research, development and innovation on N&N, which includes strategic laboratories, linked to the Federal Government, and associated laboratories, linked to universities. This paper analyses the impacts of SisNANO within the Federal University of Paraná, focusing on its associated unit Central Laboratory of Nanotechnology (LCNano). It examines if the creation of this multidisciplinary laboratory was able to reconfigure the research cooperation networks, with impacts on the scientific production. The analysis of the scientific production of the researchers involved in LCNano and those not involved (control group) were carried out through text mining techniques with the *Software R*, using the topics model. From the selected scientific output sample, the analysis of words, tokens, n-grams was carried out, studying frequency and correlation to determine the emergence of topics in nanotechnology that may have been influenced by the dynamics generated by LCNano. The results suggest that the laboratory was able to reorder research around N&N, creating more interdisciplinary networks, a change that adopt characteristics that indicate the emergence of a technological hub.

KEYWORDS: Public Policies. Science, Technology and Innovation. Laboratories. Nanotechnology. Scientific Production.

REFERÊNCIAS

BATTARD, N. Convergence and multidisciplinary in Nanotechnology: Laboratories as technological hubs. **Technovation**, no 32:234-244, DOI: 10.1016/j.technovation. 2011.09.001, 2012.

BOYD-GRABER, J.; HU, Y.; MIMNO, D. Applications of Topic Models. **Foundations and Trends R in Information Retrieval** Vol. XX, No. XX, pp. 1–154, 2017.

CASTELLS, M.S. A sociedade em rede. A era da informação: economia, sociedade e cultura. 6a. ed. São Paulo: **Paz e Terra**, v 1, 2002.

DOSI, G. The Nature of the Innovative Process: In: Dosi, G; Freeman, C.; Nelson, R.; Silverberg, C.; & Soete, I. (eds). **Technical Change and Economic Theory**. Londres: Pinter. 1988.

ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university – industry – government relations. **Research Policy**, n. 29, p. 109-123, 2000.

FREEMAN, C.; SOETE, L. A Economia da Inovação Industrial. Tradução André Luiz Sica de Campos e Janaina Oliveira Pamplona da Costa – Campinas, SP: **Editora da UNICAMP**, 2008.

GUIMARÃES, M.K.; AZAMBUJA, L.R. Empreendedorismo high-tech no Brasil: Condicionantes econômicos, políticos e culturais. **Revista Sociedade e Estado**, v.25, n.1, Brasília-DF, Brasil, 2010.

JORDAN, C.C.; KAISER, N.; MOORE, V.C. Nanotechnology Patent Survey: Who Will Be the Leaders in the Fifth Technology Revolution?. **Nanotechnology Law & Business**, v.9, no 122: 122-132, 2012.

LCNANO – Laboratório Central de Nanotecnologia da UFPR. Relatório Técnico 2004-2018. Coordenação Geral LCNano, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2018.

SILGE, J.; ROBINSON, D. Text Mining with R: A Tidy Approach. ISBN 13: 9781491981658, **O’Reilly Media, Inc.**, Boston, USA, 2017.

MALERBA, F. Sectorial Systems of Innovation: Concepts, issues and analyses of six major sectors in Europe. **Cambridge University Press**, Cambridge, UK, 2004.

MATIAS-PEREIRA, J.; KRUGLIANSKAS, I. Gestão de Inovação Tecnológica como Ferramenta de Apoio às Políticas Industrial e Tecnológica do Brasil. **Revista RAE - eletrônica**, v. 4, n. 2, Art. 18, jul./Dez, 2005.

MAZZUCATO, M. Mission-Oriented Innovation Policy: Challenges and Opportunities. **UCL Institute for Innovation and Public Purpose**, Working Paper, London, UK, 2017.

MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação do Brasil**, Governo Federal, 2012.

_____. Portaria Interministerial nº 510, de 9 de julho de 2012. **MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA e INOVAÇÃO. Publicada no DOU** de 10/07/2012 (nº 132, Seção 1, pág. 81), 2012a.

MOTOYAMA, S.; NAGAMINI, M.; QUEIROZ, F.A.; VARGAS, M.; ALBUQUERQUE, R. "1964 – 1985: sob o signo do desenvolvimentismo". In: MOTOYAMA, S. (org.) (2004) Prelúdio para uma história: ciência e tecnologia no Brasil. São Paulo: **Editora da Universidade Estadual de São Paulo**. 2004.

PLENTZ; F.; FAZZIO, A. Considerações sobre o Programa Brasileiro de Nanotecnologia. Ciência e Cultura. **Cienc. Cult. vol.65** no. 3. São Paulo: July, 2013. <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252013000300010>.

ROCO, M. C.; BAINBRIDGE, W. S.; Bruce TONN, B.; WHITESIDES, G. Convergence of Knowledge, Technology and Society Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies. **Springer International Publishing**, Switzerland, ISBN978-3-319-02204-8, 2014

WARRANT. F. Deploiement mondial de la R&D industrielle:facteur et garant de la globalisation de la technologie et de l'economie. **Bruxelles, CEE**, 1991.

Recebido: 04/05/2019

Aprovado: 17/08/2019

DOI: 10.3895/rts.v16n40.10057

Como citar:

FERREIRA PINTO, J.H.; INVERNIZZI, N. A organização das redes e da produção científica do laboratório central de nanotecnologia da UFPR em decorrência da política de nanotecnologia do Brasil. **R. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 16, n. 40, p. 1-19, abr/jun. 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/10057>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

