

Artigo

O Rápido Desenvolvimento de Células Solares de Perovskita Impulsionado pela Qualidade da Informação Existente em Bases de Patentes e em Periódicos Científicos: Uma Análise

Aguiar, L. F.; Martins, T. D.*

Rev. Virtual Quim., 2020, 12 (2), 298-324. Data de publicação na Web: 30 de Março de 2020

<http://rvq.sbq.org.br>

The Fast Development of Perovskite Solar Cells Driven by the Quality of Information in Patent Databases And in Scientific Papers: An Evaluation

Abstract: There is a great amount of information available about perovskite on its characteristics, methods of preparation and application in solar cells, both in scientific journals and in patents documents and understanding its quality is essential for technological advancement with socio-economic impact. This work presents a careful analysis of the information existing in patent databases and scientific journals, regarding the quality and nature of the information contained in these sources. Through the evaluation of the impact factor of journals and the insertion of patents through their citations, it was possible to perform an analysis of the impact that perovskites have on solar cell research and development. A parallel between the increase in the quantity of information from 2004 to 2018 and the scientific events characterized in the search bases is drawn to identify the most relevant publications in this area, worldwide. Using R language to perform statistical evaluation, it was possible to evaluate the impact of the need for information, of the increase of scientific research themes in this field and the ways in which technology is transferred from academy to industry. By means of alluvial graphics the flow of scientific development is presented, relating scientific and technological production to the main institutions in the world.

Keywords: Patents databases; impact factor; RStudio; perovskite solar cells; alluvial graphics.

Resumo

A quantidade de informação disponível sobre perovskita, suas características, métodos de preparo e aplicação em células solares, tanto em periódicos científicos, quanto em patentes é vasta e compreender sua qualidade é fundamental para que haja o avanço tecnológico com impacto socioeconômico. Este trabalho apresenta uma análise criteriosa da informação existente em bases de patentes e em periódicos científicos, quanto à qualidade e natureza das informações contidas nessas fontes. Por meio da avaliação do fator de impacto dos periódicos e da inserção das patentes por meio de suas citações, foi possível realizar uma análise do impacto que perovskitas exercem na pesquisa e desenvolvimento de células solares. Um paralelo entre o aumento do volume de informação no período de 2004 a 2018 e os acontecimentos científicos caracterizados nas bases de busca é traçado, de modo a identificar as publicações mais relevantes nessa área, no mundo. Utilizando-se a linguagem R, foi possível avaliar o impacto da necessidade de informação, do aumento do número de pesquisas científicas e da real transferência de tecnologia, que resulta em depósitos de patentes que tratam de dispositivos. Gráficos aluviais apresentam o fluxo de desenvolvimento e avanço científico, relacionando a produção científica e tecnológica às principais instituições no mundo.

Palavras-chave: Bases de patentes; fator de impacto; RStudio; células solares de perovskita; gráfico aluvial.

* Universidade Federal de Goiás, Instituto de Química, Av. Esperança, s/n, CEP 74690-900, Goiânia-GO, Brasil.

 tatiana@ufg.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20200024](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200024)

O Rápido Desenvolvimento de Células Solares de Perovskita Impulsionado pela Qualidade da Informação Existente em Bases de Patentes e em Periódicos Científicos: Uma Análise

Lucas F. Aguiar, Tatiana D. Martins*

Universidade Federal de Goiás, Instituto de Química, Av. Esperança, s/n, CEP 74690-900, Goiânia–GO, Brasil.

*tatiana@ufg.br

Recebido em 20 de Novembro de 2019. Aceito para publicação em 20 de Fevereiro de 2020

1. Introdução

- 1.1. Principais bases de busca de patentes
- 1.2. Principais bases de buscas de periódicos científicos
- 1.3. Avaliações da produção científica

2. Parte Experimental

- 2.1. Metodologia de busca nas bases de patentes
- 2.2. Desenvolvimento da estratégia de busca e análise de dados
- 2.3. Metodologia de busca em bases de periódicos
- 2.4. Obtenção dos dados referentes à quantidade de informação
- 2.5. Obtenção dos dados referentes à qualidade de informação
- 2.6. Tratamento estatístico dos dados
- 2.7. Pacotes necessários ao RStudio

3. Resultados e Discussão

- 3.1. Evolução da quantidade de publicações em bases de patentes e periódicos científicos
- 3.2. Avaliação do impacto das publicações em periódicos científicos

4. Conclusão

5. Material Suplementar

1. Introdução

Os desenvolvimentos científicos e tecnológicos devem ocorrer paralelamente, observando os anseios das sociedades, de modo que a interação entre os setores produtivos, as instituições de ensino e pesquisa e a comunidade seja o melhor e mais eficiente meio de promover a compreensão das soluções adequadas e dos mecanismos de

operação para alcançá-las. O desenvolvimento consciente, portanto, deve levar em consideração o alinhamento dos anseios dos diferentes setores e as suas capacidades. No entanto, nem sempre os projetos de pesquisa ou os produtos comercializados derivam dessa interação e o resultado são bens produzidos sem mercado, resultados de pesquisas que não atingem a comunidade, investimentos com retornos abaixo do esperado e, numa extrapolação, o descrédito

da ciência. Para que os projetos de pesquisa e o desenvolvimento de produtos para o mercado sejam mais efetivos e controlados, é fundamental que se tenha informações de qualidade e atualizada, em quantidade suficiente para prover todas as respostas aos questionamentos que surgem no desenvolvimento de um projeto. As fontes desse tipo de informações são bastante vastas e, normalmente, os interessados se detêm em examinar uma parcela dessas fontes de informação: aquela que têm mais familiaridade. Por exemplo, um cientista, ao elaborar um projeto de pesquisa, comumente se detém a examinar bases de periódicos científicos que evidenciem o estado da arte do seu tema de pesquisa. Por outro lado, um inventor em uma indústria se detém a examinar as publicações de depósitos de patentes, para encontrar as informações que necessita para desenvolver ou para fabricar um produto da forma mais eficiente. No entanto, em ambos os casos, informações pertinentes aos seus interesses podem estar presentes, em grande quantidade, em diferentes bases de dados. É importante notar que essa inclinação a uma das bases de informações (ou de periódicos científicos ou de pedidos de patentes) evidencia também uma desconexão do desenvolvimento científico com o anseio da sociedade e da comercialização da tecnologia com o que há de mais importante no mundo da ciência. O desenvolvimento conexo, portanto, se basearia em informações obtidas em ambos os tipos de bases de dados: periódicos e patentes.¹⁻¹³

Tendo como exemplo o desenvolvimento de fontes alternativas de energia, pode-se compreender as informações que existem sobre células solares. O desenvolvimento de células solares à base de perovskita tem impulsionado inúmeras pesquisas ao redor do mundo, como uma alternativa bastante promissora às células solares hoje comerciais. Uma célula solar é um diodo semiconductor mantido entre um ânodo e um cátodo e constituído da junção de um material semiconductor do tipo-n, que intrinsecamente tem um excesso de elétrons, e de um do tipo-p, deficiente em elétrons. Com a incidência de luz solar sobre o material do tipo-n, cargas elétricas são geradas devido à excitação dos elétrons de valência do material, que são promovidos à banda de condução, gerando uma carga eletrônica excessiva na banda de mais alta energia e resultando em “buracos” na banda de

menor energia. A corrente elétrica é gerada pela movimentação das cargas elétricas na direção dos eletrodos. Uma eficiente separação de cargas é a responsável pela eficiência das células solares e, portanto, depende das características dos semicondutores.

Nesse contexto, células solares começaram a empregar perovskita organometálica como semiconductor em **2009**, quando foi usada a perovskita de halogênio ($X = \text{Br}, \text{I}$) como sensibilizador em uma célula solar sensibilizada por corante (Dye Sensitized Solar Cell, DSSC) em conjunto com um eletrólito líquido.¹⁴

Perovskitas são compostos de estrutura cúbica e de fórmula geral ABC_3 , em que A e B são cátions e C é um ânion, geralmente o íon óxido O_2^- ou íons haleto ($\text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{F}^-$). Existem diversos tipos de perovskitas devido à flexibilidade de sua estrutura cristalina que podem variar para acomodar nas posições A e B diversos elementos.

A perovskita comumente utilizada em células solares é a baseada em haleto orgânico-inorgânicos, de fórmula geral é ABX_3 , em que A é um cátion orgânico, podendo ser metilamônio (CH_3NH_3^+), etilamônio ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+$) ou dimetilamônio ($\text{HC}(\text{NH}_2)_2^+$), sendo maior e mais eletropositivo que o cátion B, tipicamente um íon metálico bivalente (Pb^{2+} ou Sn^{2+}) e com X sendo um ânion, geralmente íons haleto ($X = \text{I}^-, \text{Br}^-, \text{Cl}^-$). Esses materiais assim constituídos apresentam propriedades únicas que propiciam as aplicações optoeletrônicas, em especial a da conversão da energia luminosa em energia elétrica.¹⁵ Por exemplo, perovskitas de haleto de metilamônio de chumbo ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$) são largamente aplicadas nos estudos de conversão de energia por apresentarem elevado coeficiente de absorção na região da luz visível,¹⁶ alinhamento entre as bandas de valência e condução, facilitando as transições eletrônicas e com energia variável, por meio da alteração da identidade dos cátions e ânions empregados,¹⁷ transporte de carga com alta mobilidade de elétrons e buracos^{18,19} e comprimento de difusão que excede micrometros em monocristais.^{20,21}

Dessa forma, as células solares de perovskitas de haleto orgânico-inorgânicos têm atraído a atenção da comunidade científica por resultar em eficiências surpreendentes, acima de 20 %, em um curto tempo de desenvolvimento, ameaçando, inclusive, o monopólio das células solares de silício.^{22,23} Estudos já demonstram que, além da alta eficiência, as células solares baseadas

em perovskitas envolvem processos simples de produção, com baixo custo, já sendo apontadas para a comercialização em larga escala.²⁴

A possibilidade de se tornarem efetivamente comerciais se deu com a iniciativa de empresas como a *Oxford PV*, uma *spinout* criada a partir do laboratório do professor Henry Snaith na *University of Oxford*.²⁵ No entanto, para compreender as reais possibilidades do desenvolvimento de células solares que empregam perovskitas, é fundamental avaliar as informações científicas e tecnológicas disponíveis e compreender o interesse do mercado nesse tipo de dispositivo.

Por causa disso, há muita informação sobre esse material, com relação às suas características, métodos de preparo e sua aplicação em células solares, tanto em periódicos científicos, quanto nas bases de patentes e esse volume de informação é fundamental para o progresso científico e tecnológico. No entanto, a compreensão da qualidade dessa informação é fundamental para que os projetos de pesquisa resultem em um verdadeiro avanço tecnológico de impacto social e econômico.

Os assuntos abordados em periódicos científicos e em patentes, que tenham relação com células solares que usam perovskitas são bastante variados, podendo abordar os aspectos relacionados à construção de dispositivos, à eficiência de dispositivos, aos métodos de preparo, às várias perovskitas que podem ser empregadas, aos aspectos fotofísicos da conversão de energia nesses sistemas e dispositivos e podem envolver dados obtidos experimentalmente ou simulações computacionais.^{14, 26-41} Por outro lado, as patentes que versam sobre o tema podem ser abrangentes ou proteger uma especificidade da célula solar, por exemplo, pode proteger o método de fabricação da célula solar ou pode proteger um uso de uma determinada perovskita ou seu método de obtenção. Essa variedade amplia bastante o universo de busca à disposição do interessado e evidencia que informações relevantes a um objetivo podem ter correlatos em patentes e em artigos científicos. Deste modo, é fundamental que se desenvolva a habilidade de buscar as informações relevantes na maior quantidade de fontes possível, utilizando-se, para isso, as bases de busca de patentes e de periódicos científicos.⁴²⁻⁴⁶

Existem diversas bases de busca de patentes que, quando combinadas, possibilitam encontrar

registros dos pedidos de patentes realizados em todo o mundo. Sabendo que o documento de patente é um documento territorial, conferido pelo Estado ao titular da patente e que confere o direito ao inventor de impedir que um terceiro explore essa invenção sem seu consentimento prévio, é importante ter em mente que as buscas por patentes de uma determinada nacionalidade serão mais eficientes se as bases de busca alimentadas por tal país forem utilizadas. Os escritórios nacionais mantêm suas próprias bases de busca, como o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) mantém a sua no Brasil de acesso gratuito, o WIPO mantém a Patentscope, o escritório americano (*United States Patent and trademark Office - USPTO*) mantém o seu serviço com várias opções de busca, o escritório europeu (*European Patent Office - EPO*) mantém a Espacenet e o Latipat, o escritório japonês (*Japan Patent Office - JPO*) mantém a base de busca para as patentes com depósito no Japão (*Japan Platform for Patent Information - J-PlatPat*), todas essas bases de dados de livre acesso, mas existem bases que procuram congregam as informações das bases nacionais em uma única fonte, nem sempre gratuitas, como a *Derwent Innovation Index (Clarivate Analytics)*, acessível às universidades brasileiras por convênio mantido pela CAPES/MEC. Nessas bases, as buscas podem ser executadas em termos de busca por tópicos, inventores, números de patentes e datas de depósito, entre outros, mas é importante lembrar que buscas por classificação internacional de patentes (IPC) e por famílias também é bastante eficiente.

Tendo em vista a dependência do desenvolvimento tecnológico com o desenvolvimento científico, as patentes se constituem no veículo mais apropriado para fazer chegar à sociedade o resultado de investimentos importantes na pesquisa e desenvolvimento e o mecanismo mais eficiente de promover o ciclo do desenvolvimento e da inovação.^{47,48} Essa proteção em que consiste a patente é parte de uma estratégia estabelecida internacionalmente ainda no século XIX^{49,50} que busca a expansão de mercados para gerar o maior retorno possível. Infelizmente, enquanto uma ferramenta consolidada no comércio internacional é notória a dificuldade que há nos processos de transferência de tecnologia e, em parte, isso ocorre por essa desconexão que existe entre o setor produtivo e a academia e

que não pode ser negligenciada. Neste trabalho, o panorama dessa situação é explorado, tendo como universo o desenvolvimento das células solares de perovskita. Ao avaliar a quantidade e qualidade das informações existentes, procura-se traçar um paralelo entre a realidade do desenvolvimento tecnológico, como embasado no desenvolvimento científico e a direção que ele toma, como dependente dos interesses científicos e as perspectivas econômicas e sociais que inovações assim geradas apresentam. Os dados analisados neste trabalho foram obtidos em bases de busca de patentes e de periódicos científico e, para revelarem esses aspectos, são correlacionados em tratamentos estatísticos bastante inovadores.

1.1. Principais bases de busca de patentes

Como exigência de concessão pelo Estado, as patentes devem conter informações acuradas e detalhadas sobre as invenções para que seu objeto possa ser eficientemente replicado. Essa suficiência descritiva, que é interpretada como um quarto requisito da patenteabilidade de uma invenção (os requisitos de patenteabilidade são explicitados no art. 8º da Lei 9.279/96 como sendo i) novidade, ii) atividade inventiva e iii) aplicação industrial), é exigida com o propósito da avaliação acurada por um técnico no assunto quanto aos requisitos de patenteabilidade⁵¹ e, por fim, que possa ser publicado como meio de divulgação científica. Encontram-se publicados pedidos de patentes depositados, concedidos e indeferidos em todo o mundo em bancos de dados mantidos por escritórios nacionais e órgãos de administração patentária, as bases de busca de patentes. Nesse estudo foram utilizadas bases de patentes gratuitas (*PatentScope*, *Espacenet* e bases territoriais como a do INPI) e a *Derwent Innovations Index*, da *Clarivate Analytics*, base acessível às universidades brasileiras através do portal de periódicos CAPES/ MEC, por meio de convênio.

Cada uma das bases oferece uma experiência diferente ao usuário. As diferenças estão na forma de inserção dos termos de busca, na forma de combiná-los e nas ferramentas de análise de informações que oferecem.

Dentre as diversas bases de busca à disposição, este trabalho utilizou o *PatentScope*, o *Espacenet* e a base de busca do INPI.

O *PatentScope* é a base de buscas da *World Intellectual Property Organization (WIPO)*. É uma base gratuita e disponível em diversos idiomas. Ela é a principal base para busca de pedidos de patentes feitos utilizando-se o *Patent Cooperation Treaty (PCT)*.^{52,53}

O *Espacenet* é uma base de dados gratuita, desenvolvida e mantida pelo *European Patent Office (EPO)* em conjunto com os países-membros da *European Patent Organisation*. Ela permite acesso a uma base global com mais de 110 milhões de documentos de patentes publicados em mais de 100 autoridades de patentes.⁵⁴ O *Espacenet* oferece o *Latipat*, que contém informações sobre os documentos de patentes da América Latina e Espanha, em português e em espanhol.

O INPI possui uma base de dados própria e gratuita, em português, que apresenta os registros para depósitos de patentes nacionais, marcas, desenhos industriais, programas de computador e contratos de transferência de tecnologia, que podem ser buscados separadamente.

1.2. Principais bases de buscas de periódicos científicos

Web of Science

Web of Science é a base de periódicos científicos produzido originalmente pelo *Institute for Scientific Information (ISI)* e atualmente mantida pela *Clarivate Analytics*. Contém, entre seus serviços, informações sobre citações e uma plataforma para análise das informações obtidas da base, como discriminação por periódicos, autores, ano de publicação, área de interesse, etc. A coleção principal do *Web of Science (Web of Science Core Collection)* é formada por 6 bancos de dados distintos dos quais, neste trabalho, utilizou-se a *Science Citation Index Expanded (SCIE)*, que corresponde a mais de 8,5 mil periódicos cobrindo mais de 150 áreas de interesse distintas, com documentos desde o ano de 1900.

Scopus

A *Scopus* é a base de dados da *Elsevier*, maior editora de literatura científica e médica do mundo. Conta com mais de 36 mil periódicos, dos quais mais de 34 mil são revisados por especialistas (pares), sobre temas diversos. Neste

trabalho, o *Scopus* foi utilizado para identificar os principais periódicos, instituições e países com contribuições no tema de células solares e células solares baseadas em perovskita.

1.3. Avaliações da produção científica

Embora, no âmbito mundial, haja muita controvérsia e muitas discussões ainda estejam ocorrendo, em prol de mais adequadas políticas de avaliação e valorização do profissional da ciência, a qualidade da produção científica é, entre outras formas, avaliada em termos do seu impacto com diversos índices que são constantemente revisados. Um deles é o *InCites Journal Citation Reports (JCR)*⁵⁵ e, no Brasil, o Qualis, administrado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).⁵⁶ Esses dois índices são usados neste trabalho.

Assim, utilizou-se a classificação QUALIS da área de Química, área com um grande número de pesquisas sendo conduzidas no tema de desenvolvimento de materiais para conversão de energia solar.

Essa avaliação das características das publicações em bases patentárias e em bases de periódicos científicos foi realizada com o intuito de ser ter o panorama dos avanços sobre células solares com uso de perovskita tendo, nos parâmetros de qualidade e quantidade de informações nessas bases, uma forma de avaliar o desenvolvimento de sistemas usando esse material, bem como das técnicas de preparo das formas uso e ter informações sobre o interesse global nas tecnologias envolvendo perovskitas, o interesse científico sobre esse tema e a sua aplicação comercial. A seguir, detalhamos as metodologias utilizadas para obter as informações relevantes.

2. Parte Experimental

As informações quanto à quantidade e qualidade das informações em documentos de patentes e em artigos científicos sobre perovskita como material alternativo para células fotovoltaicas foram obtidas em bases de dados não gratuitas, mas com acesso por meio do convênio do Portal de periódicos Capes/MEC⁵⁷ e outras bases de acesso livre.

Para a busca de documentos de patentes, utilizou-se as bases de busca de patentes *Espacenet*, *USPTO*, *INPI*, *Latipat*, *Patentscope* e *Derwent*.

A busca por artigos científicos foi realizada na base *Web of Science*, por meio do portal de periódicos Capes/MEC e *Scopus*.

Todas as pesquisas em bases de patentes foram realizadas, utilizando os termos apresentados na tabela 1, em português, nas bases Latipat e INPI e em inglês nas demais bases de busca. Os dados em bases de patentes foram adquiridos para o período de publicação dos pedidos entre **2007** e **2018**, de modo que a evolução desse tema de pesquisas pudesse ser avaliada a partir do seu início. Os detalhes das buscas estão apresentados em *Metodologia de busca em bases de patentes*. Os dados coletados segundo a metodologia adotada foram coletados até 31 de dezembro de **2018** e representam as patentes e artigos científicos publicados até essa data. Não apresentam patentes que estavam em sigilo até aquela data, mas apresentam artigos que estavam publicados apenas *online*.

2.1. Metodologia de busca nas bases de patentes

Derwent

Nessa base, os termos de busca foram utilizados em inglês, conforme a tabela 1. Inicialmente, a página contém apenas um campo de busca na aba de busca básica ("*Basic Search*"), mas é possível adicionar novos campos de busca, selecionando a opção adicionar uma nova linha ("*Add row*"). A primeira coluna foi utilizada para conter o termo de busca "perovskite*" e uma nova coluna foi utilizada para adicionar o termo "sola cell OR fotovoltaic". Cada termo é separado por campo de busca e todos foram categorizados como tópicos ("*Topic*") na barra adjacente. Cada nova linha adicionada foi precedida pelo termo booleano "AND", para que ambos os termos estejam contidos nos resultados. O período foi selecionado em "*Timespan > Custom year range*", para os anos 2007 a 2018.

Como resultado das buscas nessa base, obteve-se relatórios fornecidos pela própria base de busca, selecionando-se a opção "*Analyze*

Tabela 1. Termos de buscas utilizados para a coleta de dados nas diferentes bases de busca de patentes e artigos, em português e inglês, e as siglas correspondentes.

Termos de busca gerais	Em português	Em inglês
SC	Célula solar or fotovoltaic*	Solar cell or photovoltaic
SCD	Célula solar or fotovoltaic* and dispositivo	Solar cell or photovoltaic and device
PSC	Perovskita and célula solar or fotovoltaic*	Perovskite and solar cell or photovoltaic
PDS	Perovskita and célula solar or fotovoltaic* and dispositivo	Perovskite, solar cell or photovoltaic and device
Termos de busca para perovskita	Em português	Em inglês
PM	Perovskita and método	Perovskite and method
PME	Perovskita, método and solar or fotovoltaic*	Perovskite and method and solar or photovoltaic
PSY	Perovskita and sistema	Perovskite and system
PSS	Perovskita and sistema and solar or fotovoltaic*	Perovskite and system and solar or photovoltaic
PMA	Perovskita and material	Perovskite and material
PMS	Perovskita and material and solar or fotovoltaic*	Perovskite and material and solar or photovoltaic

Results". Selecionando-se "Assignee Name" e "International Patent Classification Code", dois relatórios no formato ".txt" foram gerados, um referente aos nomes dos depositantes e outro relacionado aos códigos IPC.

INPI

Nessa base, há a opção da busca avançada, em que se pode fazer a busca de palavras-chaves localizadas no título e/ou no resumo, usando-se termos booleanos para correlacioná-los. Os termos de busca da tabela 1 foram empregados e os resultados diferentes foram agrupados em uma tabela para dar origem a um documento .csv.

Latipat

Essa base das patentes do Espacenet, em português e em espanhol, oferece a opção de busca "búsqueda inteligente", mas também a "búsqueda avanzada", em que é possível fazer buscas apenas no título, título, títulos ou resumos e em todo o texto, utilizando palavras-chave e usando os termos booleanos. Os dados obtidos podem ser exportados para as extensões .csv e .xls ou baixar em formato .pdf. Nesse trabalho, as buscas foram realizadas em português, pois todos os termos de busca são correlatos em ambos os idiomas.

Espacenet

O mesmo ambiente utilizado pelo *Espacenet* é similar ao utilizado pelo *Latipat*, os termos de busca, no entanto, são empregados em inglês e os mesmas opções de obtenção de dados estão disponíveis nessa base.

2.2. Desenvolvimento da estratégia de busca e análise de dados

A estratégia de tratamento de dados eleita se baseou nos conceitos da preparação de um relatório de panorama de patentes (*Patent Landscape Report – PLR*), de acordo com a *World Intellectual Property Organization (WIPO)*⁵⁸ e com utilização do manual de estatísticas de patentes da OCDE.⁵⁹ A motivação para essa investigação, que é uma informação exigida em PLRs, é a de prover informação acurada sobre esse panorama, para que o pesquisador brasileiro possa nortear seus projetos de pesquisa. Executou-se, portanto, o tratamento de dados da seguinte forma: identificou-se as tarefas associadas com a análise da informação em patentes para delimitar a análise temporal e avaliar a necessidade do detalhamento regional.

Os dados coletados foram atualizados em Abril de 2019 para que todas as patentes publicadas até a data de 31 de dezembro de 2018 fossem encontradas.

Os depósitos de patentes que retornaram das buscas foram agrupados segundo as palavras-chaves e suas composições com termos booleanos, conforme descrito na tabela 1. Também foram eleitas as bases de patentes mais relevantes para a exploração, conforme apresentado anteriormente, de modo a conservar a base de patentes do INPI, apesar de o Brasil não apontar entre as regiões de desenvolvimento científico e tecnológico desse tema, nem de ser um possível mercado em curto prazo, e sim porque se trata da região em que serão desenvolvidas as pesquisas que este trabalho instruirá. A análise semântica foi realizada e resultou no conjunto de palavras-chave selecionadas para a execução do levantamento dos dados apresentados nesse trabalho, de modo que houvesse uma confiabilidade de que os dados retornados da busca não se referissem a outros usos de perovskita.

Os dados foram analisados quanto à regionalidade (representação geográfica), linha temporal e características dos depositantes e dos inventores. Esses dados foram correlacionados para a execução de um *data mining*, de modo que a grande quantidade de dados retornados pudesse gerar as novas informações sobre o tema e pudessem, ao ser avaliados em conjunto com os dados obtidos de bases de periódicos científicos, fornecer esse panorama de qualidade e quantidade de informações disponíveis, objetivo deste trabalho.

A análise dos dados foi executada em meso-nível, pois a análise do conteúdo das patentes e de outros aspectos como análise conjunta e análise de sua correspondência com artigos científicos foi realizada para um grupo pequeno de documentos, que surgiram da análise temporal conjugada com a análise de depositantes, inventores e reivindicações, que os colocaram no limiar da mudança de comportamento comentada mais adiante nesse trabalho. No entanto, organização e agrupamento por classificação internacional de patentes (IPC) foi executada, para fins não tratados neste trabalho. Para o objetivo deste trabalho, não houve necessidade de criação de matrizes de co-ocorrência.

Os dados foram, então, preparados para análise. Como mencionado, a estratégia de análise semântica pré-realizada contribuiu para a eliminação de documentos que não eram relevantes para o tema e contaminassem os volumes de documentos encontrados nas

buscas. Também os parâmetros de interesse foram selecionados, tomando-se, portanto, regionalidade, temporalidade, titularidade e aplicação ou não de perovskitas em células solares, incluindo temas de métodos, materiais e sistemas, para evidenciar o nível de desenvolvimento tecnológico em que se encontram as células solares de perovskita, tendo como universo o documento em bases de patentes. Dessa forma, o agrupamento por famílias não foi considerado, para que não houvesse distorções na informação de regionalidade, principalmente quando cruzada com temporalidade.

Os dados foram organizados utilizando planilhas produzidas com esses dados em programas livres como o LibreOffice e tratados segundo o tratamento da linguagem R, no RStudio, para a construção dos gráficos analisados neste trabalho, conforme detalhado adiante.

A análise estatística incluiu número de depósitos de patentes, respeitando as combinações de palavras-chaves para delimitar o tema, a territorialidade, o tipo de aplicação (método, sistema e material), os inventores mais relevantes, os titulares mais relevantes e as patentes mais citadas. Desse modo, a metodologia aplicada a este trabalho utilizou os elementos da produção de relatórios de panorama de patentes para apresentar uma visão da situação de patentes sobre o tema de células solares que utilizam perovskitas, o padrão da atividade patentária e de inovação no tema.

Todas as sintaxes utilizadas para a construção dos gráficos apresentados neste trabalho estão apresentadas no material suplementar.

2.3. Metodologia de busca em bases de periódicos

Para a busca em bases de periódicos científicos, utilizou-se o *Web of Science (Clarivate Analytics)* e *Scopus (Elsevier)* para adquirir os dados referentes aos documentos publicados no período de 2004 a 2018.

Web of Science

Os termos utilizados para as buscas de documentos (Tabela 1) foram categorizados em “*Topic*”, na barra de busca adjacente. Linhas de busca foram adicionadas a cada novo termo, todos

precedidos termo booleano “AND”, para que ambos os termos estivessem contidos nos resultados.

Scopus

Os termos utilizados para as buscas de documentos eram separados, nessa base, em campos de busca diferentes, usando-se o termo booleano “AND”. Todos os campos de busca foram categorizados como “Article title, Abstract, Keywords”. O período de busca de 2004 a 2018 foi selecionado na opção “Limits”, selecionando o ano de início e de fim das buscas no campo “Date range (inclusive)”. Os tipos de publicações de interesse foram selecionados em “Document type”, opção “Article or Review”.

2.4. Obtenção dos dados referentes à quantidade de informação

Para se obter a informação de quantidade de documentos publicados por ano nas bases de busca utilizou-se a opção “All Databases” no *Web of Science*, o que permite a exploração das bases de dados colocadas à disposição pela *Clarivate Analytics*, incluindo *Web of Science*, *Derwent Innovations Index*, *KCI*, *Russian Citation Index* e *SciELO Citation Index*. Com isso, foi possível obter os números de documentos publicados como pedidos de patentes, artigos científicos e revisões bibliográficas, no período de interesse.

2.5. Obtenção dos dados referentes à qualidade de informação

Na página inicial de qualquer umas das bases de dados exploradas, há uma barra, no canto superior, contendo o “*Journal Citation Reports (JCR)*”, onde é possível executar uma pesquisa por nome do periódico de interesse. Essa pesquisa fornece o relatório anual contendo dados da editora, localização, abreviações, idiomas, frequência anual de publicação e classificação *Science Citation Index (SCI)*, *Science Citation Index Expanded (SCIE)* e *JIF*, esse último, o parâmetro utilizado neste trabalho para avaliar a qualidade das publicações em periódicos científicos. Para avaliar a qualidade das informações existentes em pedidos de patentes, utilizou-se o recurso de avaliar a quantidade de citações que um

documento recebeu, de modo a encontrar os trabalhos de impacto, entre os anos de 2012 e 2013 que, segundo análises apresentadas na seção de resultados e discussão, é um período de relevância para o desenvolvimento científico no tema de interesse deste trabalho. As informações de citações em outros documentos de patentes são disponibilizadas nas Base *Derwent*.

2.6. Tratamento estatístico dos dados

O tratamento estatístico dos dados coletados foi executado, usando-se softwares gratuitos, o *LibreOffice* e o *RStudio*. O *LibreOffice Spreadsheet* foi utilizado para gerar tabelas que compilavam os dados obtidos, enquanto o tratamento estatístico dos dados foi realizado, utilizando-se exclusivamente no *RStudio*. Este é um *Integrated Development Environment (IDE)* bastante difundido em diversas áreas do conhecimento e que utiliza a linguagem de programação estatística *R*, possibilitando o tratamento de volumes grandes de informação, permitindo uma variedade de opções de apresentação da informação, a mais didática possível.

O tratamento estatístico dos dados foi realizado com o objetivo de auxiliar na visualização da distribuição da atividade de pesquisa e desenvolvimento das células solares à base de perovskita. Desse modo, na base de dados *Derwent/Web of Science* foram utilizados, a partir da ferramenta de análise de resultados por elas disponibilizadas (*analyze results*), os campos de interesse como depositantes, inventores, datas de depósitos/ publicações e classificações, tanto internacional (IPC) como a própria da *Derwent* (disponível apenas na base de patentes). Os dados coletados e salvos em planilhas passaram por um tratamento inicial de remoção de possíveis duplicidades entre depositantes, busca da melhor classificação quanto ao seu campo de atuação e localidade dos documentos encontrados. Com isso, foi possível criar um novo nível de metadados a partir do qual o papel das principais instituições e dos principais responsáveis pelos avanços nessa área pôde ser definido.

Utilizando a linguagem estatística *R*, por meio do pacote *ggplot*, foram determinadas as formas de visualização dos dados mais adequadas e o tratamento desses dados para definição de

clusters, utilizando-se a função *k-means* que é um dos métodos mais utilizados para a clusterização de textos,⁶⁰ que define a base de dados de interesse e o número de clusters de interesse e está disponível no pacote RStudio.

Os clusters resultantes foram correlacionados uns aos outros por meio do tratamento de dados estatísticos realizados no RStudio, que considerou os centroides de cada grupo para criar a correlação e gerar os gráficos de fluxo aluviais apresentados neste trabalho. Os metadados isoladamente forneceram as informações para as construções dos gráficos bidimensionais que permitem a discussão quanto às percepções das mudanças de comportamento com relação ao período de publicação ou depósito de patentes, quanto à quantidade dos documentos em cada período e as correlações que inferem sobre qualidade, envolvendo citações de patentes e fator de impacto de periódicos.

2.7. Pacotes necessários ao RStudio

Os dados tratados deram origem a gráficos distintos, adequados ao tipo de análise executada. Para isso, utilizou-se pacotes específicos e gratuitos do RStudio obtidos pela função `install.package` (“nome do pacote”) no console. Os pacotes são disponibilizados em um repositório que pode ser acessado livremente chamado *Comprehensive R Archive Network (CRAN)*,⁶¹ onde se encontram todos os arquivos e documentação para a construção de gráficos individuais e combinações de gráficos. Foram utilizados os pacotes “*ggplot2*”, “*ggExtra*”, “*ggsci*”, “*ggrepel*”, cada pacote com uma função. Especificamente, *ggplot2* foi utilizado para a construção dos gráficos apresentados nesse trabalho, que buscam formas elegantes de facilitar a visualização de diversos dados de se correlacionam; *ggExtra* imprime melhorias e mais funções para o *ggplot2*; *ggrepel* previne a sobreposição de textos nos gráficos. De modo geral, o tratamento de dados foi realizado a partir de uma tabela externa de extensão (.csv), utilizada para criar uma nova tabela chamada “*data.frame*”, onde foram relacionados os valores acessados pelas funções de tratamento de dados escolhidas. As sintaxes utilizadas nos tratamentos de dados estão disponíveis no **Material Suplementar**

3. Resultados e Discussão

3.1. Evolução da quantidade de publicações em bases de patentes e periódicos científicos

A evolução anual do volume de publicações ocorridas no período de interesse (2004-2018) é um parâmetro para a avaliação do impacto que o tema de células solares produzidas com perovskita exerce e do crescente interesse que o tema exerceu no desenvolvimento científico-tecnológico, tanto no âmbito acadêmico, quanto no setor industrial, mundialmente.

A Figura 1 apresenta a evolução das publicações sobre células solares, em comparação à evolução da publicação no tema de células solares com perovskita, bem como nos temas específicos da construção de dispositivos.

Na Figura 1, os depósitos de pedidos de patentes relacionados a dispositivos fotovoltaicos (Figura 1B) acompanhou a evolução das publicações com tema de células solares (Figura 1A), até o ano de 2012. No entanto, a partir do ano de 2013, houve um decréscimo nos depósitos de pedidos de patentes que reivindicavam células solares (Figura 1A), mas quando o tema especifica dispositivos de células solares (termos de busca “*solar cell + device*”), o número de depósitos de patentes se torna constante e passa a ser aproximadamente metade dos números de depósitos de patentes que reivindicam células solares, evidenciando a transferência da tecnologia para a fabricação de dispositivos fotovoltaicos (Figuras 1A e 1B).

Sobre o número de publicação de artigos científicos, observa-se que cresceu em ritmo acelerado, mas no mesmo ritmo do aumento de publicações sobre células solares e produção de dispositivos (Figura 1B), indicando também que o interesse científico e tecnológico passou a ser na produção de dispositivos.

A causa para a queda do número de depósitos de pedidos de patentes, a partir de 2013, se deve ao impacto da descoberta de diversos materiais viáveis para aplicação em células solares com o argumento do menor custo, entre elas, as células solares que utilizam perovskita. Isso pode ser avaliado nas Figuras 1C e 1D, em que os números de publicações se relacionam aos temas de busca que se referem especificamente ao uso de perovskitas, pela adição do termo

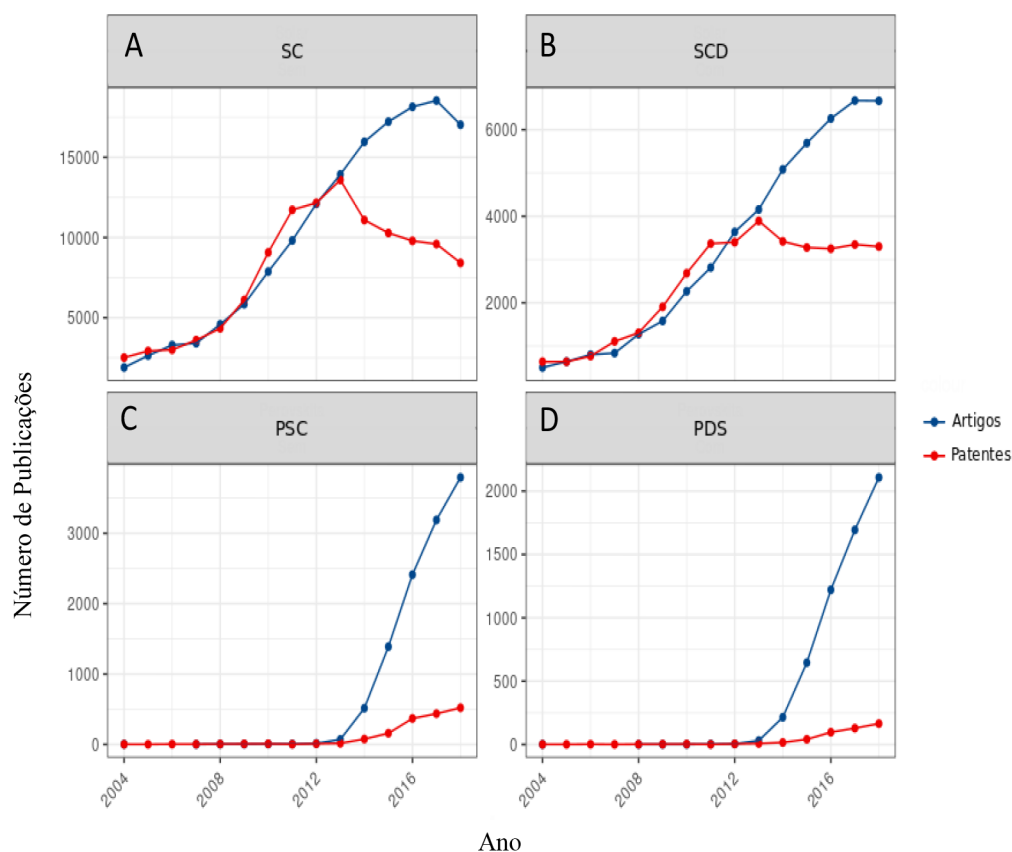


Figura 1. Quantidade de publicações em periódicos científicos e em matéria de patentes, por ano, utilizando os termos de busca A) Solar cell (SC);B) solar cell + device (SCD);C) Perovskite + Solar cell (PSC);D) Perovskite+ solar cell + device (PDS)

“perovskite” aos termos de busca “solar cell”. Observa-se, então, que o número de artigos científicos aumenta mais rapidamente que os depósitos de pedidos de patentes (Figura 1C), o que evidencia o caminho natural da evolução tecnológica, que deve se basear no aprendizado científico, nos resultados de pesquisa crítica e criteriosa, para que ocorra a transferência tecnológica da forma duradoura e mais eficiente. As publicações sobre temas envolvendo assuntos correlacionados à aplicação de perovskitas em células solares, como estudos de estabilidade, simulações computacionais, se tornam mais numerosos nesse momento, pois têm o objetivo de compreender os fenômenos e interações envolvidos no uso desses materiais com o objetivo da conversão de energia, e como esse conhecimento pode ser utilizado para a melhoria de futuros dispositivos.

Ainda, quando o termo “perovskite” é associado ao termo “solar cell+device”, observa-se que a partir de 2013, tanto o número de artigos científicos publicados quanto o número de depósitos de

patentes correspondem a aproximadamente 50 % do número de documentos publicados sobre o tema de célula solar de perovskita, evidenciando que a aplicação de perovskita nos dispositivos fotovoltaicos ocorreu de forma imediata. Isso demonstra que os estudos sobre perovskitas chamaram a atenção do setor produtivo, sendo imediatamente reconhecido como um material com grandes perspectivas de aplicação comercial. Se isso não ocorresse, poderia indicar que mesmo com aplicação de recursos em pesquisa e desenvolvimento, a falta de inovação seria um risco para o setor produtivo. Esse resultado, portanto, evidencia que as indústrias receberam a novidade como uma real alternativa e investiram na sua transformação em produto.

A Figura 2 apresenta a quantidade de publicações em periódicos e matéria de patentes, por ano, sobre os temas relativos aos métodos de produção de perovskita (*PVK + method*), a sistemas criados, utilizando a perovskita (*PVK + system*) e perovskita como material usado em diversas aplicações (*PVK+ material*).

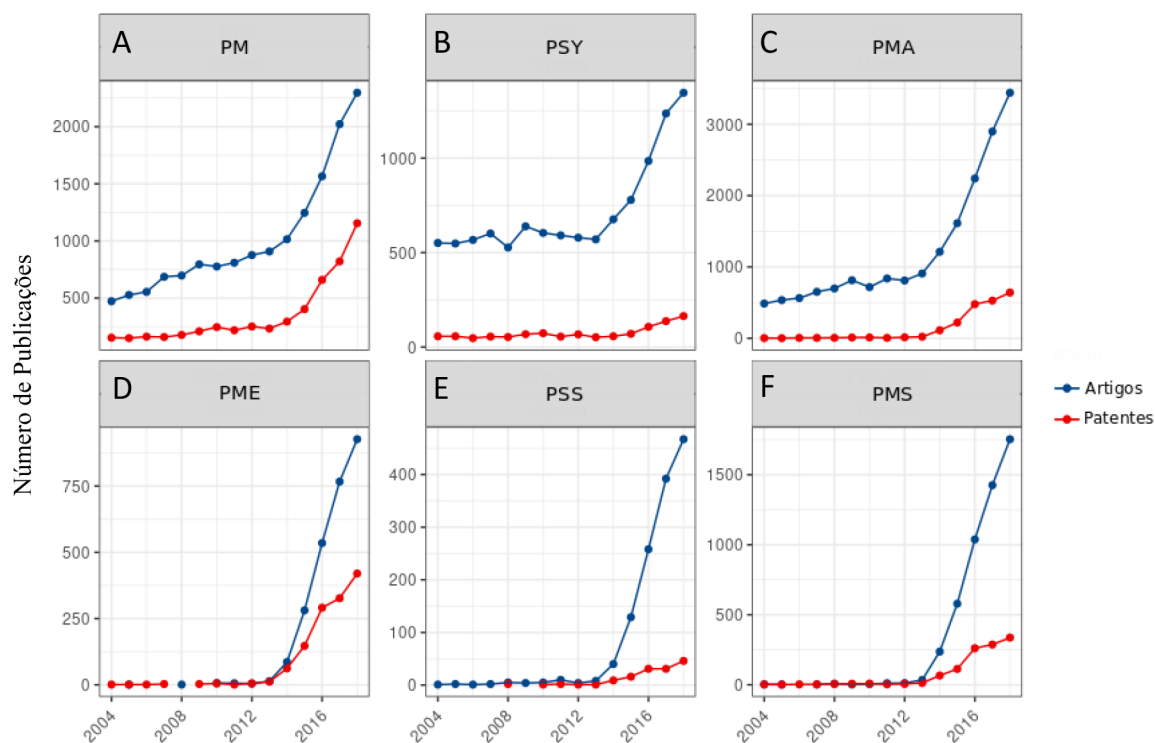


Figura 2. Quantidade de publicações em periódicos científicos e em matéria de patentes, por ano, utilizando os termos de busca A) perovskite + method (PVK + Method (PM)); B) perovskite + system (PVK + System) (PSY); C) perovskite + material (PVK + Material (PMA)); D) perovskite + solar + method (PVK + Solar + Method (PME)); E) perovskite + solar + System (PVK + Solar + System (PSS)); F) perovskite + solar + material (PVK + Solar + material (PMS))

De um modo geral, observa-se que o crescimento da publicação em artigos científicos sobre temas de perovskita como método de produção, do material em si e perovskita em sistemas, era superior à publicação em bases patentárias até o ano de **2013**, quando houve um rápido aumento nas tendências das publicações e no número absoluto de publicações sobre esses temas (Figuras 2A, 2B e 2C). Esse efeito, novamente se relaciona a ocorrências no ano de **2013** que mudaram paradigmas e que serão comentados mais adiante.

Observa-se que o número absoluto das publicações e depósitos de pedidos de patentes de temas empregando a perovskita como material é maior que as publicações e depósitos de pedidos de patentes sobre métodos envolvendo perovskita (que envolve, inclusive, métodos de preparação de diversas perovskitas) e é o dobro da publicação no tema de perovskita aplicada a sistemas, que envolve uso na fabricação de dispositivos.

Quando se alia a esses termos de busca, o termo “solar”, numa maneira de selecionar os usos

direcionados dos métodos, materiais e sistemas envolvendo perovskitas, observa-se que até o ano de **2013** praticamente não havia produção científico-tecnológica que previsse o uso de perovskita em células solares (Figuras 2D, 2E e 2F). A partir de então, o crescimento da produção se deu exponencialmente, de modo que, em **2018**, a produção de artigos científicos e depósitos de pedidos de patentes correspondeu praticamente à metade de toda a produção científica e depósitos de patentes no tema de perovskitas como material (números absolutos nas Figuras 2C e 2F). Esses resultados apontam para um rápido aumento do interesse na aplicação de perovskita na construção de dispositivos fotovoltaicos, uma vez que esse aumento nas quantidades de artigos científicos, seguido do aumento do número de depósitos de patentes evidencia a tendência do objeto de pesquisa passar do composto em si para a sua atuação quando na composição do dispositivo, o que é imprescindível quando se quer testar formas de aplicação comercial.

No entanto, para inferir sobre a magnitude do

interesse no tema, é importante fazer uma análise do conteúdo das patentes e ter o panorama em que estão sendo utilizadas, por exemplo, identificando as formas de gestão dos portfólios de patentes, considerando o abandono de patentes, os pedidos de patentes negociados, patentes efetivamente licenciadas e usos estratégicos de patentes, por exemplo, a composição do portfólio de patentes-cerca (*patent fencing*) de uma dada entidade, as patentes defensivas que evidenciam o uso de patentes como estratégia de proteção de um mercado que se encontra em fase inicial do desenvolvimento.

Essa brusca mudança de comportamento, sempre ocorrida a partir de um ano específico (**2013**) leva a crer que há um trabalho científico ou patente depositada, ou grupo de trabalhos científicos e patentes que tiveram um importante impacto no tema.

Para localizar esses trabalhos ou grupo de trabalhos, foi executada uma busca de artigos científicos e de pedidos de patentes depositados no período de 2011 a **2013** e, de acordo com os temas e citações destes documentos, foi possível identificar os trabalhos mais relevantes.

Observou-se que a mudança que se tornou sistemática nos principais trabalhos relacionados a células solares baseadas em perovskitas ocorreu partir do ano de **2012**, quando diversos trabalhos relatando perovskitas aplicadas a dispositivos eletrônicos e outras aplicações foram publicados.

Já no ano seguinte, houve a aplicação de perovskitas em células solares, evidenciada por depósitos de pedidos de patentes realizados por universidades coreanas que, em 2011, versavam sobre células solares contendo perovskitas do tipo ABO_3 e, em **2012**, passaram a versar sobre células solares híbridas contendo perovskita do tipo ABX_3 , em que X são halogênios ou combinações de halogênios.^{62,63}

Foi possível identificar dois grupos de pesquisa principais, responsáveis pelos trabalhos de maior impacto, o do *Clarendon Laboratory, Department of Physics na University of Oxford* liderado pelo Prof. Henry Snath e o grupo do *Laboratory for Photonics and Interfaces, Institute of Chemical Sciences and Engineering, School of Basic Sciences, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)*, em Lausanne, Suíça, liderado pelo Prof. Michael Gratzel. Em **2012**, o artigo científico mais citado foi sobre uma célula solar híbrida baseada em perovskita com alta absorvidade no infravermelho

e com eficiência de conversão de 10,9 %, que foi produzido por Lee *et al.*, em **2012**.⁶⁴ O trabalho do grupo de pesquisas da EPFL foi o terceiro mais citado, versando sobre o mesmo tema e reportando uma eficiência de 9,7 %.⁶⁵ Das bases patentárias, destacam-se dois depósitos de pedidos de patentes, um da coreana *University of Sungkyunkwan*, que tem como colaborador o grupo de pesquisas da EPFL que trata de uma célula solar³¹ e outro pedido de patentes depositado pelo japonês *National Institute of Advance Industrial Science & Technology (AIST)*, que protege micropartículas fluorescentes baseadas em uma estrutura híbrida de perovskita.⁶⁶

Em **2013**, observou-se um domínio de trabalhos relacionando perovskitas a células solares. O grupo da EPFL esteve ligado a 4 dos artigos científicos mais citados^{44, 67-69} incluindo o mais citado, publicado pelo periódico *Nature*⁶⁸ em **2013**, DOI: 10.1038/nature12340, contando 5111 citações em Abril de **2019** e que deu foco aos fundamentos físicos desses dispositivos e seus métodos de preparação, enquanto o grupo de Oxford publicou o 2º e o 3º artigos mais citados, um publicado pelo periódico *Nature*⁷⁰ em **2013**, DOI: 10.1038/nature12509 e que contou com 4199 citações até Abril de **2019**, o outro sendo uma publicação da Science, DOI: 10.1126/science.1243982, contando 4065 citações, ambos reportando dispositivos.^{21,70}

Todos esses artigos foram publicados em periódicos científicos de alto impacto, principalmente *Nature* e *Science*. Adicionalmente, observou-se que as três patentes depositadas com maior número de citações foram patentes pertencentes ao grupo de Oxford, que as depositaram por meio da *Oxford University Innovation*, antiga *Isis Innovation*, a agência da Universidade que auxilia pesquisadores e estudantes a “trazer os benefícios de sua pesquisa e expertise e a criar impacto na sociedade”.⁷¹ Similarmente, no Brasil, a gestão de políticas institucionais de inovação, que envolve a gestão dos bens intangíveis e da transferência de tecnologias é realizada pelos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) das Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICTs), cuja implantação e competências são regulamentadas pela Lei da Inovação, 13.243/2016 (art. 16).⁷² Esses pedidos de patentes depositados por meio da *Oxford University Innovation*, foram depositados utilizando-se a norma procedimental do *Patent*

Cooperation Treaty (PCT), gerenciado pela WIPO, em que o depositante preenche um único depósito com caráter internacional, gerando os mesmos efeitos de múltiplos depósitos simultâneos em diferentes países que sejam signatários do acordo. O depósito via PCT objetiva auxiliar o depositante que tem interesse em depositar seu pedido de patente em diversos países. O uso do depósito via PCT é vantajoso também para os escritórios de patentes, uma vez que dá subsídios às suas análises independentes, já que, no PCT, o relatório de pesquisa internacional e uma opinião escrita são emitidos no 16º mês a partir do depósito PCT. Possibilita a solicitação, pelo interessado, de relatórios de pesquisa suplementares nos 16º e 22º meses seguintes ao depósito PCT e emite o relatório preliminar internacional sobre patenteabilidade de determinado pedido de patente no 28º mês após o depósito. O PCT é um mecanismo vantajoso também à sociedade, pois facilita o acesso público a uma grande quantidade de informações técnicas sobre as invenções.

A utilização deste mecanismo, portanto, adiciona valor à patente, como no caso dos pedidos de patentes depositadas pela *Oxford University Innovation* via PCT, que versavam sobre perovskitas híbridas contendo os metais Pb e Sn, com diferentes combinações de halogênios e o seu uso em dispositivos optoeletrônicos e tendo como inventor, Henry Sanith.⁷³⁻⁷⁵ Dessas, a patente WO2013171517-A1⁷⁵ foi a mais citada, contando 73 citações até Abril de 2019, a patente WO2013171518-A1⁷⁴ foi citada 30 vezes e a patente WO2013171520-A1⁷³ contou 56 citações.

O número de citações em termos de patentes pode ser relativamente pequeno quando comparado ao número de citações observados para artigos científicos. No entanto, é preciso observar o objetivo de cada meio de publicação. Em artigos científicos, a citação é fundamental para que se compreenda o grau do desenvolvimento científico que está sendo apresentado no trabalho e a origem do conhecimento que foi usado para fundamentar o desenvolvimento. Citações no âmbito das patentes significam que aquele objeto protegido para aplicação comercial foi utilizado como base para outras aplicações de valor comercial. Ou seja, o objeto da patente citada suporta o desenvolvimento de outros projetos de aplicação comercial e utilizam essas soluções como parte de seu produto. Essa é a função social da patente: além de fomentar o avanço

tecnológico como fonte de informação criteriosa também o faz por meio do impacto econômico que é capaz de exercer, propiciando o retorno do investimento em pesquisas e desenvolvimento tecnológico e alimentando o ciclo da inovação.

3.2. Avaliação do impacto das publicações em periódicos científicos

A Figura 3 apresenta o número de publicações em periódicos científicos, correlacionados aos fatores de impacto de cada periódico, considerando-se os temas de células solares e o refinamento de células solares à base de perovskita.

As Figuras 3A e 3C apresentam, respectivamente, o número de publicações científicas que versam sobre células solares (SC) e células solares contendo perovskita (PSC), por fator de impacto dos periódicos em que foram publicadas.

Cada círculo representa o número de publicações de um único periódico, representado pelo valor do seu fator de impacto (JIF). A curva colorida é a curva de regressão polinomial obtida a partir dos dados numéricos constantes também do gráfico.

As Figuras 3A e 3C foram construídas, tendo como termos de busca “solar cell” e “perovskite + solar cell”; as Figuras 3B e 3D foram construídas considerando os resultados para os termos de busca “solar cell+device” e “perovskite+solar cell+device”, de modo que fosse possível comparar as publicações que versam exclusivamente sobre dispositivos construídos para conversão de energia fotovoltaica, usando ou não perovskita, com as publicações sobre todos os aspectos de células solares, contendo ou não perovskita. Novamente, a adição do termo “perovskite” à busca resulta em um menor volume de publicações, quando comparado ao volume total de resultados para células solares (Figuras 3A e 3C).

Dos dados numéricos, representados por círculos nos gráficos das Figuras 3A e 3C, observa-se que a concentração de publicações sobre células solares estava em periódicos de fator de impacto (JIF) de valor em torno de 5 e, com a adição do termo “perovskite” à busca, as publicações mais numerosas ocorreram em periódicos de JIF= 10, o que constitui uma importante mudança diretamente relacionada ao uso de perovskitas no comportamento e no interesse científico.

No entanto, a avaliação dos dados crus não é capaz de informar sobre aspectos específicos desse

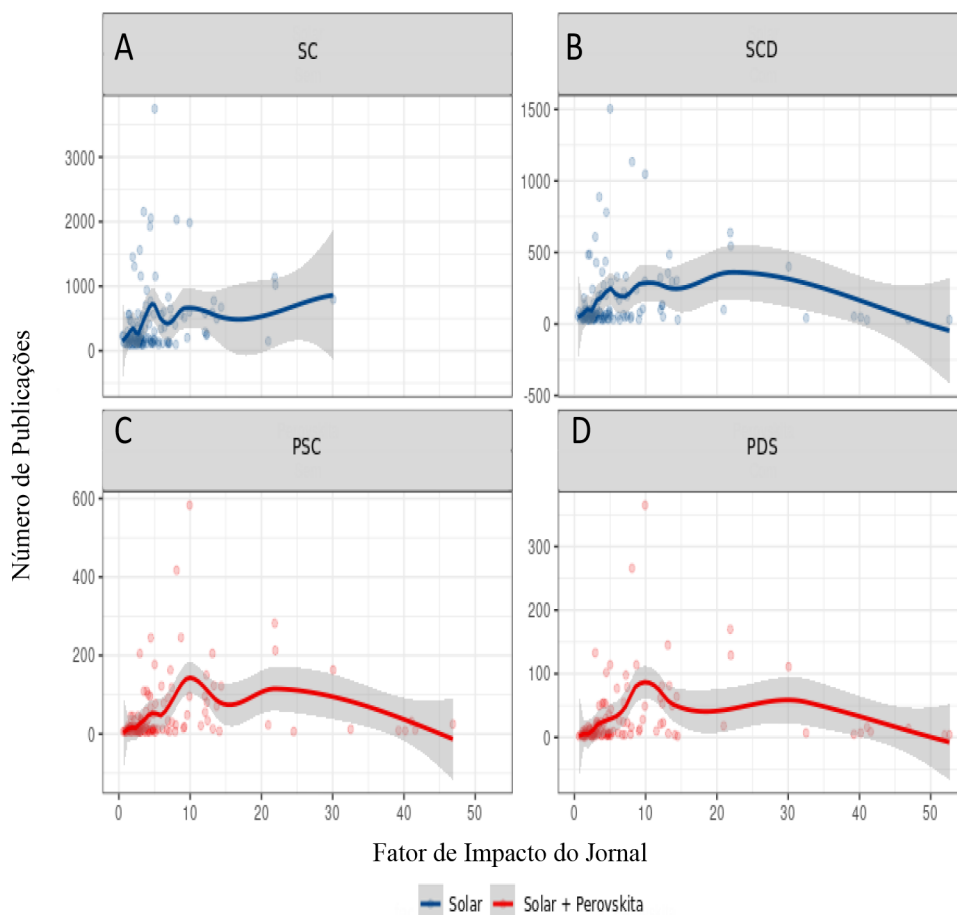


Figura 3. Quantidade de publicações em periódicos científicos (entre artigos e revisões bibliográficas) e o fator de impacto (JIF, Journal Impact Factor) correspondente. Dados obtidos utilizando-se os termos de busca A) Solar cell (SC); B) solar cell + device (SCD); C) Perovskite + Solar cell (PSC); D) Perovskite+ solar cell + device (PDS)

comportamento, pois, a informação do impacto da publicação está diluída nas quantidades de publicações.

Para descrever corretamente a distribuição da informação, uma curva de regressão polinomial foi construída para cada conjunto de dados e está apresentada em cada gráfico da Figura 3, em linhas sólidas.

Das curvas de regressão polinomial apresentadas nas Figuras 3A e 3C, observa-se que o fator de impacto para os resultados da busca com os termos “solar cell” se concentra em JIF menores que 10, enquanto que com o termo “perovskite + solar cell”, a concentração de JIF está entre 20 e 30 e que o máximo fator de impacto das publicações que mencionam células solares e células solares com perovskitas aumenta de 30 para 53 com a adição do termo “perovskite”.

Esse aumento do JIF alcançado pelos artigos científicos que versam sobre perovskita em células solares evidencia que esse assunto é realmente de grande interesse para a comunidade científica. Quanto o termo “device” é adicionado aos termos de busca anteriores, os gráficos obtidos são os apresentados nas Figuras 3B e 3D e, pela análise das respectivas curvas de regressão polinomial, observa-se as publicações científicas que não consideram perovskitas alcançam JIF= 47, enquanto que JIF=53 somente é alcançado quando perovskita é considerada para a construção de células solares. Esse aumento expressivo do fator de impacto indica que a aplicação em dispositivos comerciais é de grande interesse, também, para a comunidade científica e que o uso da perovskita é especialmente interessante. Os fatores de impacto em que se concentram as publicações aumenta da

faixa de 1-10 para 20-30 quando o termo “device” é adicionado ao termo “solar cell” nas buscas (Figuras 3A e 3B), e o valor máximo do JIF passa de 30 para 53. Ainda, comparando as Figuras 3C e 3D, a adição do termo “device” nas buscas de células solares com perovskita eleva o JIF de 47 para 53 e, pelos dados numéricos, observa-se que há uma correspondência dos JIF, indicando que grande parte dos documentos encontrado com o termo “perovskite” contém os mesmos documentos obtidos quando se adiciona o termo “device”, o que indica o interesse e a rapidez com que a perovskita foi estudada para a aplicação em células solares.

As Figuras 4 e 5 apresentam os dados em gráficos do tipo aluvial, que apresentam dados por meio de fluxos representativos das quantidades de interesse. Eles contêm 4 colunas que representam, cada uma, 100 % da informação que contém. Assim, a Figura 4 apresenta, em cada coluna, 16.946 publicações em matéria de patentes, realizadas no período de **2007 a 2018** e os fluxos correlacionam os dados da coluna 1 (esquerda) com a coluna 2 (meio) que, por sua vez, se correlacionam com os dados da coluna 3

(meio) e, então, com a coluna 4 (direita).

Observa-se, na coluna 1 (esquerda), o domínio das empresas como depositantes de patentes na área de células solares, sendo responsáveis por 98,1 % do total dos depósitos de patentes. Isso evidencia que o tema de células solares tem se tornado cada vez mais atrativo para o setor industrial, em diversas partes do mundo, mas, predominantemente no Japão (coluna 2) que conta com 69,8 % dos depósitos de pedidos de patentes nesse tema.

As universidades, por sua vez, têm uma pequena participação, sendo responsáveis por 0,9 % dos pedidos depositados. O fluxo em vermelho mostra que, dessas universidades, cerca de 60 % são chinesas, estando as demais localizadas na Coreia, Estados Unidos e Europa.

A coluna 3, que contém a informação dos objetos das patentes selecionados a partir dos termos de busca SC, PSC, SCD e PDS, agrupados em “solar: SC+PSC” e “PVK: PSC+PDS” para distinguir os dispositivos que contêm perovskita dos que não contêm, apresenta a diferença de objetos de patentes dos dois tipos de depositantes.

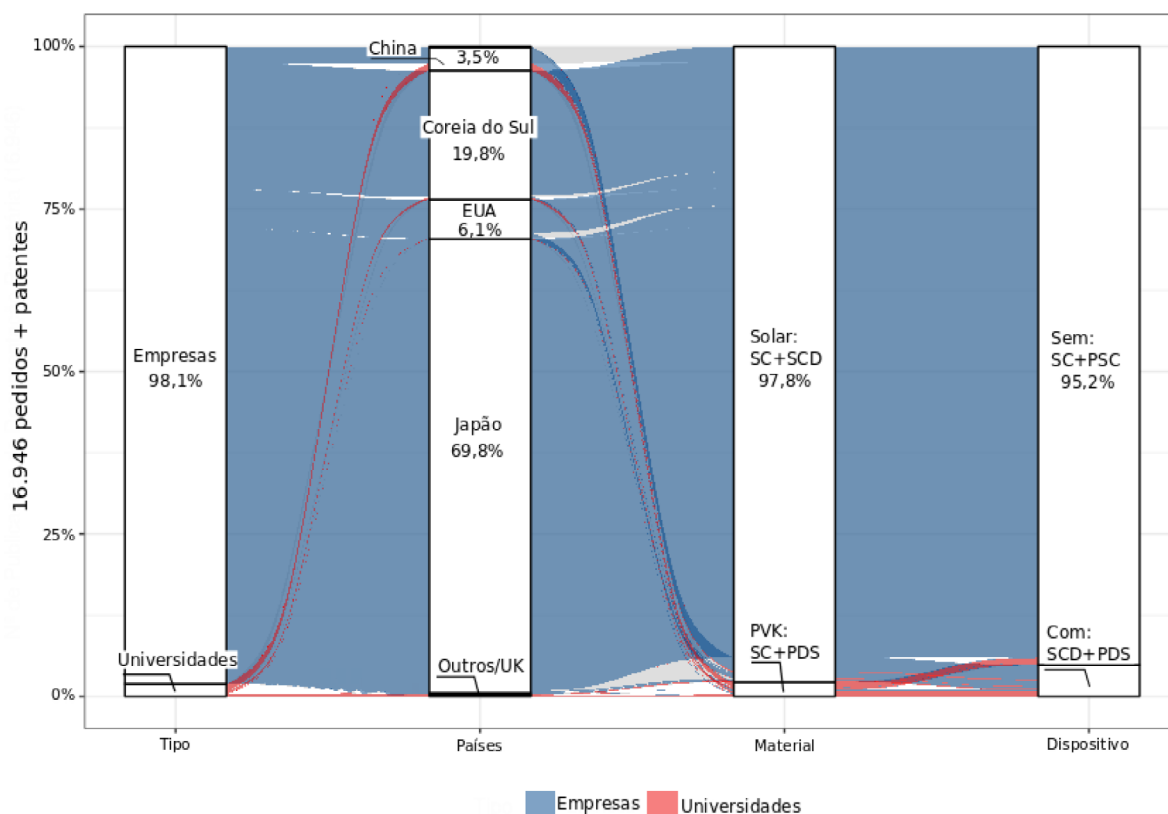


Figura 4. Gráfico aluvial da correlação entre os depósitos de patentes ocorridos em empresas (fluxo azul) e universidades (fluxo vermelho) do mundo e os temas que abordam

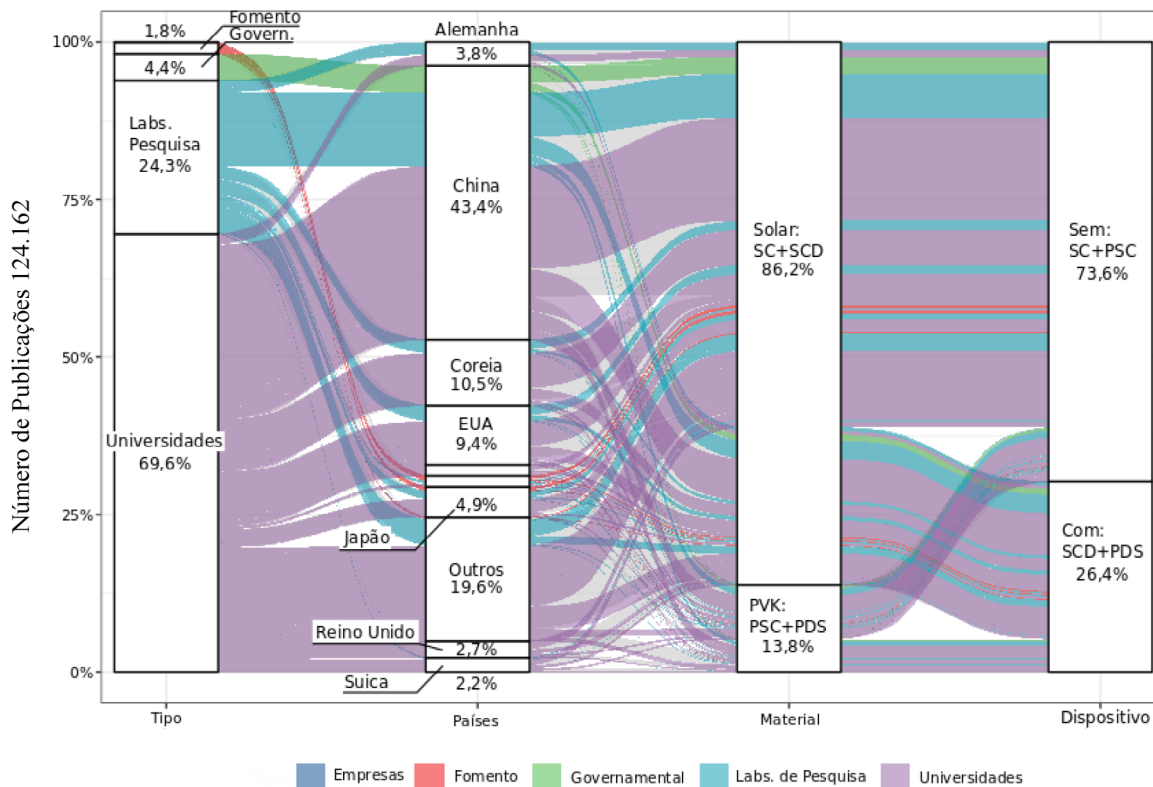


Figura 5. Gráfico aluvial da correlação entre o número de publicações sobre os temas de interesse desse trabalho e a natureza dos produtores do conhecimento, pelo mundo: Universidades (fluxo roxo), laboratórios de pesquisa (fluxo verde-água), agências governamentais (fluxo verde), agências de fomento (fluxo vermelho) e empresas (fluxo azul)

O número de depósitos de patentes, por si só, não é responsável pela consolidação de empresas em um mercado e em muitos mercados, os bens intangíveis, apesar de importantes, não são determinantes. Ainda, mesmo nos casos em que os bens intangíveis são bastantes importantes na valoração de uma empresa, deve-se lembrar que as patentes não são os únicos bens intangíveis que podem ter em seu portfólio. Marcas, desenhos industriais, assim como *know-how*, segredos industriais, são muitas vezes mais importantes nessa valoração que as próprias patentes.

Dependendo do uso que a empresa faz de seu portfólio de patentes, essa valoração pode ser maior ou menor. Por exemplo, quando a empresa opta pelo uso defensivo de patentes, ou seja, quando a empresa não mantém o portfólio de patentes com o objetivo de produzir determinado produto, mas sim com o intuito de evitar a exploração de concorrentes, essa série de patentes se torna um mecanismo de valoração de patentes em que a empresa tem o objetivo

de mostrar poder aos concorrentes. Ao utilizar a estratégia do *“patent fencing”*, em que uma série de patentes é usada com a intenção de bloquear qualquer inovação que tenha relação com uma patente inicial ou que impeçam qualquer aplicação de patentes subsequentes àquela, ou fazer uso da estratégia do *evergreening*, em que a empresa se utiliza da patenteabilidade de um segundo uso para o objeto da patente inicial e deposita novo pedidos, estendendo sua proteção de mercado, a empresa está utilizando bens intangíveis de um modo não esperado para agregar valor ao seu produto a para expandir mercados. Em um mercado competitivo, um portfólio de patentes que pode ser usado dessa maneira, é percebido como um ativo de grande valor. Essas estratégias são bastante usadas por indústrias do setor farmacêutico, por exemplo.⁷⁶ Tomando como base o setor energético, por exemplo, em nosso país, a Petrobrás é a empresa que detém o maior *Marketshare* e, de acordo com diversos estudos,⁷⁷⁻⁷⁹ apesar da empresa ser uma

das maiores depositantes de patentes no Brasil, esse portfólio tem muito baixa influência em seu valor de mercado.

Observa-se que mais de 97 % das patentes depositadas não são sobre células solares e dispositivos que contenham perovskita, mas 2,2 % de patentes que se referem ao uso desse material são, quase que na sua totalidade, produzidos em universidades.

Também observa-se que muito poucas patentes depositadas que versam sobre outros tipos de dispositivos e células solares são produzidas por universidades. As patentes depositadas em muito maior número, sobre células solares e dispositivos sem contar células solares, são produzidas por empresas.

Ainda, na coluna 4 observa-se que o foco do depósito de pedidos de patentes de universidades tem sido no desenvolvimento de dispositivos, o que indica uma nova fase de amadurecimento da pesquisa, em que o objeto já está bem descrito e a aplicação precisa ser comprovada. Isso indica também o interesse das universidades na transferência da tecnologia para o setor produtivo. Apesar do uso de perovskitas em dispositivos e, principalmente, em células solares ainda não esteja no âmbito do setor industrial, as perspectivas de que se torne um novo nicho em um breve futuro são bastante promissoras. Tanto as instituições de pesquisa quanto as indústrias do mundo enfatizam essa possibilidade, em seus relatórios, artigos científicos e artigos de opinião.

Por exemplo, muitos estudos executados nos últimos 5 anos apresentam as perovskitas como alternativas às células solares de silício porque são facilmente produzidas e de ultra-baixo custo de produção⁸⁰ por possibilitarem o uso de técnicas simples de deposição, evitando o uso de máquinas muito sofisticadas para a produção de filmes, por serem depositadas a baixas temperaturas, o que não é possível em células solares de silício (as comerciais da atualidade). Ainda, quando aplicadas nas camadas ativas de células solares; as perovskitas fornecem eficiências de conversão energética acima de 23 %, ⁸¹ estão ficando mais estáveis, o que assegura a durabilidade exigida pelo mercado⁸² e, por fim, o maior obstáculo que era o da alta toxicidade do produto, está sendo contornado por técnicas simples, como o do uso de aditivos para diminuir a incompatibilidade entre TiO_2 e perovskita⁸³ e o uso de outros metais no lugar do chumbo, como estanho.^{33, 84-89}

Com isso, organizações como *The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research-TNO*, organização holandesa, tem intensificado suas pesquisas, desenvolvimento de produtos e a prospecção do mercado futuro para esse produto.⁹⁰

Após a iniciativa da Oxford PV, como já mencionado, empresas multinacionais do setor de tecnologia como Panasonic e Toshiba no Japão, estão se dedicando a desenvolver células solares que substituam as de silício. Na China, a *Weihua Company* foi a primeira a produzir submódulos solares com perovskita e a *Shanghai Liyuan New Energy Technology Co. Ltd.* produziu um módulo com recorde de eficiência, tendo atingido 12,1 % para uma área de abertura de 36 cm^2 .⁹¹ Outras companhias chinesas também estão tendo avanços no que diz respeito à produção de células solares que utilizam perovskitas em dimensões comerciáveis, como a *WonderSolar Co. Ltd.*, que utilizou eletrodos de carbono em seu protótipo e em **2018** instalou um sistema de 110 m^2 composto por painéis solares de perovskita, usando técnica de screen-printing. Também a *GCL New Energy Co. Ltd.* está desenvolvendo métodos para fabricar filmes de perovskita de alta qualidade em grandes áreas.⁹¹

Apesar de ter iniciado as pesquisas sobre o tema tardiamente, a China é hoje a maior produtora de informação sobre células solares de perovskita, além de ser o maior país depositante de pedidos de patentes no mundo, o que indica que está se preparando também para atuar nesse mercado futuro. Observa-se, no entanto, que esse desenvolvimento de células solares baseadas em perovskita com o foco comercial está ocorrendo mundialmente, sendo liderado por países como Coreia do Sul, Japão, EUA e países europeus, como Alemanha e Reino Unido, além da China.⁹² Essa informação é corroborada pelos dados apresentados na Figura 4.

Se há o interesse comercial, então este é evidenciado também pelas análises de pedidos de patentes. Segundo o PLR produzido pela Cintelliq,⁹³ como se trata de uma área nova de desenvolvimento, há poucas patentes concedidas, mas o número de depósitos de patentes sobre perovskitas aplicadas às células solares tem crescido ano a ano e em **2018** cresceu mais de 100 %, sendo 50 % de todas as patentes publicadas tendo sido depositadas na China, o que também corrobora com os dados apresentados na Figura 4.

Ainda, esses dados do PLR corroboram os nossos dados e, assim como a análise ora apresentada, evidenciam que o crescimento exponencial ocorreu a partir de **2013**, após o impacto dos estudos publicados naquele ano tendo, inclusive, a tecnologia fotovoltaica envolvendo perovskitas listada pela revista *Science* entre os 10 maiores avanços científicos de **2013** (Coontz, R. Science's Top 10 Breakthroughs of **2013**. Publicado em 19/12/2013).⁹⁴

É importante ressaltar que a perspectiva de rápido desenvolvimento leva a um esforço de cooperação entre as indústrias e envolve também universidades, num desenvolvimento que ocorre sob as premissas da inovação aberta. Esse termo, utilizado pela primeira vez em **2003** por Chesbrough⁹⁵ relaciona o desenvolvimento e utilização de novos produtos por meio do estreitamento de relações colaborativas entre empresas e organizações. É, na verdade, uma arma competitiva bastante importante para alguns setores e devem ocorrer com o total envolvimento das habilidades dos participantes, de seus objetivos e do capital social.⁹⁶⁻⁹⁸ Utiliza diferentes abordagens para o desenvolvimento e aplicação de conhecimentos como a “de fora para dentro” e “de dentro para fora”.⁹⁹ A abordagem “de fora para dentro” utiliza conhecimentos inovadores de fontes externas para desenvolver novos produtos e serviços, enquanto que a abordagem “de dentro para fora” envolve a abertura do conhecimento de uma dada empresa para outras empresas, favorecendo uma permeabilidade entre as empresas que leva ao desenvolvimento do mercado, num mecanismo de “coopetição”.¹⁰⁰ Quando gestão da propriedade industrial está envolvida na inovação aberta, as inovações, os recursos humanos e o conhecimento adquirido não são mais propriedade exclusiva de quem os desenvolveu.¹⁰¹ Esse desenvolvimento conjunto se contrapõe aos paradigmas da inovação fechada, em que se busca inovação pioneira no mercado e essa é a base o lucro da empresa.

Em diversas áreas, como é o caso das células solares de perovskita, é evidente que a inovação é essencial para a competitividade das empresas.¹⁰² Nesse estágio de desenvolvimento, em que um mercado ainda não existe, mas é prospectado com o crescente interesse de indústrias nos resultados de pesquisas científicas, caracteriza-se uma fase embrionária do desenvolvimento em que a empresa busca monitorar o

desenvolvimento do mercado, tecnologias emergentes, novas necessidades dos clientes e esse direcionamento das atividades caracteriza a fase chamada Fuzzy Front End – FFE do processo de gestão da inovação.⁹⁷ Nessa fase, é essencial estabelecer colaborações envolvendo empresas e universidades.

Segundo o Manual de Oslo da OCDE,¹⁰³ a base do desenvolvimento tecnológico está na formação técnica especializada e no apoio à pesquisa básica que sustentam a inovação. Essas colaborações podem ser em termos de parcerias de pesquisa, transferência de recursos humanos e *know-how*, licenciamento de direitos de propriedade industrial, publicações técnicas e científicas,¹⁰⁴ entre outras.

Tendo esse panorama como base e comparando-se os dados apresentados na Figura 4 com os apresentados na Figura 1, observa-se que o ciclo da inovação é reforçado, com a mudança que resulta na inovação surgindo na academia, em que a nova tecnologia é desenvolvida e documentada por universidades, numa forma de amadurecimento do conceito, antes de ser introduzido às indústrias como uma real alternativa ao produto comercial já existente.

É importante ressaltar que a legislação nacional é fundamental nesse processo. Tomando como exemplo o desenvolvimento da legislação de propriedade intelectual americana, a partir da década de 80, quando a emenda conhecida como *Bayh-Dole Act* permitiu que empresas pequenas, universidades e instituições sem fins lucrativos pudessem possuir a propriedade intelectual ao invés da instituição governamental que financiou o seu desenvolvimento, resultando numa maior conversão de patentes em produtos comerciais, o que antes do *Bayh-Dole Act*, das 28.000 patentes pertencentes a instituições governamentais, apenas 5 % gerou produto comercial.

O Japão também segue um caminho de alto grau de proteção por patentes como fonte de seu desenvolvimento industrial, uma vez que sua legislação se baseia na legislação americana.^{105,106} No Brasil, essa iniciativa se deu a partir de 2004 com a Lei 10.973, de 2 de dezembro de 2004,¹⁰⁷ a Lei de Inovação, também chamada de Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação, criada para estimular a parceria entre os setores público e privado e que foi regulamentada em **2016** (Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de **2016**⁷² e decreto nº 9.283, de 7 de fevereiro de **2018**¹⁰⁸).

Está bem apresentado o fluxo do desenvolvimento, em que as indústrias, então, tendem a buscar novas soluções nas universidades, para encontrar a aplicação comercial e então realizar sua inovação e desenvolver sua tecnologia. Em contrapartida, as universidades fazem uso dessa propriedade industrial para trazer novos investimentos para executar suas pesquisas.

A Figura 5 apresenta, em cada coluna 124.162 publicações em periódicos científicos, analisadas quanto ao tipo de instituição de origem (coluna 1), ao país a que pertencem (coluna 2), à perovskita como material usado no objeto (coluna 3) e aos dispositivos construídos contendo ou não perovskita (coluna 4).

Como esperado, existe um predomínio de publicações executadas por universidades e centros de pesquisas. Essas instituições estão distribuídas principalmente em países como China, Coreia do Sul, Estados Unidos e Japão.

Observa-se ainda que mais de 50% das patentes depositadas tendo o tema de células solares baseadas em perovskitas foram depositadas por universidades chinesas (Figura 4, coluna 3).

Comparando-se com os dados apresentados na Figura 4, há um maior número de artigos científicos publicados sobre células solares de perovskita que patentes depositadas, o que também indica que o desenvolvimento tecnológico está se dando por meio do amadurecimento da informação científica e que gerará novas tecnológicas duradouras como resultado.

Da Figura 5, observa-se que mais de 43 % das publicações no tema são provenientes de universidades chinesas, corroborando com os dados de Wang *et al.*⁹¹ Analisando-se o fluxo aluvial apresentado na Figura 5, percebe-se que a maior parte dos artigos científicos provenientes das universidades chinesas tratam de materiais para células solares que não consideram perovskitas. Cerca de 20 % da produção científica versa sobre perovskitas para células solares (fluxo coluna 2 (países) para coluna 3 (material)) e desses, 100 % versam sobre a construção do dispositivo usando a perovskita.

Distribuição semelhante é observada para os EUA, Coreia do Sul, Reino Unido e Japão, mas é interessante notar que dos artigos científicos que citam perovskita como material, cerca de 40 % mencionam seu uso em células solares, resultando em mais de 26 % dos artigos científicos sobre células solares tratando do uso de

perovskita. Como mostra o PLR de 2018,⁷⁸ esses também são os países, além da China, que mais têm depositado patentes sobre o tema. Ainda, enquanto as universidades chinesas apresentam uma supremacia na produção científica em termos numéricos, conforme observa-se na análise desses dados da Figura 5, que corroboram com as informações de Wang *et al.*,⁹¹ observa-se que não se destacam no número de depósitos de patentes, o que indica que esta é uma fase de investimento em pesquisas, que é majoritariamente financiada pelo Estado naquele país, de acordo com seu plano de desenvolvimento.¹⁰⁸

A difícil transição chinesa do *catching up* à economia puxada pela inovação, como relata Segalla, na China, “investir em inovação é uma política de Estado com metas e objetivos defendidos pelo próprio governo”,¹⁰⁹ ainda não se traduziu em produtos comerciais (Figura 4). Enquanto isso, as universidades europeias, em especial Oxford e EPFL, que não se destacam em termos de quantidades de publicação científica, lideram efetivamente a produção neste novo campo de pesquisa de células solares.

E nesse aspecto, é importante notar que esse avanço não foi ao acaso, pois resultam de um investimento massivo e coerente em pesquisa e desenvolvimento, com o fim da produção tecnológica e entrega de produtos à sociedade. Por exemplo, no Reino Unido, a política de ciência e tecnologia é central em seu programa de estímulo à economia e se baseia na promoção de vínculos com as universidades, tendo, inclusive, a inclusão de incentivos fiscais na forma de créditos para pesquisa e desenvolvimento tecnológico em seu marco regulatório da inovação.^{110,111}

Essa constatação também evidencia a deficiência dos indicadores de produção científica em representar o grau de desenvolvimento e inovação, a partir dos resultados de pesquisas científicas, que se baseiam apenas em números de publicações de artigos e depósitos de patentes porque omitem as nuances por que passam as pesquisas científicas que efetivamente geram inovação, gerando produtos que atuação na qualidade e no modo de vida da sociedade, o que caracteriza a pesquisa científica que tem sucesso real.

Para que esse objetivo seja alcançado, é importante que o desenvolvimento tecnológico esteja alinhado aos avanços científicos, de forma que a aplicação comercial seja sempre considerada ao haver um importante desenvolvimento

científico. Um exemplo é o que se observou da atividade do grupo de pesquisas da Universidade de Oxford, em que o trabalho científico que resultou no depósito de 3 importantes patentes e diversos artigos científicos em **2013**, se tornou um verdadeiro marco para a área de células solares. Essa relação evidencia a estratégia adotada pelo grupo, que visa proteger os avanços da pesquisa, em todas as suas fases de desenvolvimento, de modo que seja possível estabelecer parcerias comerciais e que fomentem o desenvolvimento de pesquisas ulteriores, para que produtos sejam disponibilizados no mercado.

4. Conclusão

De um modo geral, essa análise documental evidenciou que a estratégia de desenvolvimento de um projeto de pesquisas deve ser bem estabelecida e deve inclusive, prever e estabelecer as formas de proteção e de divulgação dos resultados parciais e finais. Desse modo, tendo todos os aspectos do desenvolvimento tecnológico protegidos, é possível encontrar mecanismos eficientes de garantir que a sociedade se beneficiará dos resultados de pesquisas e de manter o equilíbrio entre o investimento em pesquisa e retorno financeiro para reinvestimentos, dando origem ao ciclo de inovação saudável, por exemplo, fornecendo dados para análises que serão utilizados nas políticas públicas para o desenvolvimento científico, tecnológico e industrial, como fizeram China e Reino Unido, conforme evidenciado neste trabalho. Por meio da análise da evolução da quantidade de informações existentes em bases de patentes e em periódicos científicos, observa-se que há uma correlação entre o desenvolvimento das pesquisas científicas sobre o tema de células solares empregando perovskita e o despertar do interesse comercial dos resultados da pesquisa, o que foi corroborado por relatórios de panoramas de patentes e estudos de mercado apresentados neste trabalho. Por ter havido um rápido crescimento do número de publicações nesse tema, que foi seguido pelo aumento dos depósitos de pedidos de patente, observa-se que houve rapidamente a percepção de que se trata de um tema com grandes perspectivas de aplicação comercial, o que também foi corroborado em

relatórios de mercado apresentados no trabalho. Esse é o caminho saudável que o desenvolvimento tecnológico deve seguir: ocorrer a partir da comprovação científica e por meio do incentivo ao ciclo da inovação e da eficiente transferência de tecnologia. A alta qualidade das informações, tanto nas bases de patentes, quanto nos periódicos científicos ficou evidenciada pela análise das citações das patentes e do fator de impacto das publicações. Ao analisar a identidade dos trabalhos de maior impacto na área, evidenciou-se que a proteção por meio de patentes não é antagonista à produção científica e não inibe o desenvolvimento científico, ao contrário, pode criar meios de trazer retorno aos produtores do conhecimento, de modo a fomentar novas pesquisas, por meio da alimentação do ciclo da inovação.

5. Material Suplementar

As sintaxes, os parâmetros e outras informações sobre os programas utilizados para a construção dos gráficos apresentados neste trabalho estão disponíveis na forma de arquivo PDF, com acesso livre.

Agradecimentos

T.D. Martins e L.A. Fernandes agradecem à Capes pela bolsa de estudos e pela disponibilidade do Portal de Periódicos que tornou possível a realização desse trabalho.

Referências Bibliográficas

¹ Barbosa, M. Ao vencedor as Patentes. Disponível em: <<https://braziljournal.com/ao-vencedor-as-patentes-licoes-do-instituto-weizmann-para-o-brasil>>. Acesso em: 5 abril de 2019.

² Scudeler, M. A.; Oliveira, M. C. S. C. A Contribuição do Sistema de Patentes para o Desenvolvimento Econômico e Tecnológico: Uma Análise Sumária do Perfil Inovativo do País a Partir dos Depósitos de Patente Perante o INPI. Disponível em <<http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=1294afe6156ef3b5>>. Acesso em: 4 Abril de 2019.

- ³ Sítio do Encontro da ANPAD. Disponível em: <<http://www.anpad.org.br/admin/pdf/GCT1421.pdf>>. Acesso em: 4 abril de 2019.
- ⁴ Barroso, W.; Quoniam, L.; Pacheco, E. Patents as technological information in Latin America. *World of Patent Information* **2009**, *31*, 207. [CrossRef]
- ⁵ Ferreira, A. A.; Guimarães, E. R.; Contador, J. C. Patente como instrumento competitivo e como fonte de informação tecnológica. *Gestão & Produção* **2009**, *16*, 209. [CrossRef]
- ⁶ Carayannis E. G.; *Encyclopedia of Creativity, Invention, Innovation and Entrepreneurship*, Springer: New York, **2013**. [CrossRef]
- ⁷ Sítio da Universidade de Coimbra. Disponível em: <<https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/32688>>. Acesso em: 4 abril 2019.
- ⁸ Macedo, M. F. G.; Barbosa, A. L. F.; Patentes, pesquisa & desenvolvimento: um manual de propriedade intelectual, Editora FIOCRUZ: Rio de Janeiro, 2000.
- ⁹ Gonzaga e Castro, I. P.; Carvalho, A. F. O papel do sistema de propriedade intelectual e das patentes no desenvolvimento local. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/49421/o-papel-do-sistema-de-propriedade-intelectual-e-das-patentes-no-desenvolvimento-local>>. Acesso em: 5 abril 2019.
- ¹⁰ Mueller, S. P. M.; Perucchi, V. Universidades e a produção de patentes: tópicos de interesse para o estudioso da informação tecnológica. *Perspectivas em Ciência da Informação* **2014**, *19*, 15. [CrossRef]
- ¹¹ Nunes, J. S.; Oliveira, L. G.; *O Uso do Sistema de Patentes pelas Universidades Brasileiras*, Imprensa da Universidade de Coimbra: Coimbra, **2009**. [CrossRef]
- ¹² Pavanelli, M.; *Tese de doutorado*, Universidade Estadual de São Paulo, Brasil, 2018. [Link]
- ¹³ Moura, A. M. M.; *Tese de doutorado*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2009. [Link]
- ¹⁴ Gratzel, M. The light and shade of perovskite solar cells. *Nature Materials* **2009**, *13*, 838. [CrossRef]
- ¹⁵ Song, T.-B.; Chen, Q.; Zhou, H.; Jiang, C.; Wang, H.-H.; Yang, Y. M.; Liu, Y.; You, J.; Yang, Y. Perovskite solar cells: film formation and properties. *Journal of Materials Chemistry A* **2015**, *3*, 9032. [CrossRef]
- ¹⁶ De Wolf, S.; Holovsky, J.; Moon, S. J.; Löper, P.; Niesen, B.; Ledinsky, M.; Haug, F. J.; Yum, J. H.; Ballif, C. Organometallic Halide Perovskites: Sharp Optical Absorption Edge and Its Relation to Photovoltaic Performance. *Journal of Physical Chemistry Letters* **2014**, *5*, 1035. [CrossRef]
- ¹⁷ Noh, J. H.; Im, S. H.; Heo, J. H.; Mandal, T. N. Seok, S. I. Chemical Management for Colorful, Efficient, and Stable Inorganic–Organic Hybrid Nanostructured Solar Cells. *Nano Letters*. **2013**, *13*, 1764. [CrossRef]
- ¹⁸ Lee, M. M.; Teuscher, J.; Miyasaka, T.; Murakami, T. N.; Snaith, H. J. Efficient Hybrid Solar Cells Based on Meso-Superstructured Organometal Halide Perovskites. *Science* **2012**, *338*, 643. [CrossRef]
- ¹⁹ Ponceca, C. S.; Savenije, T. J.; Abdellah, M.; Zheng, K.; Yartsev, A.; Pascher, T.; Harlang, T.; Chabera, P.; Pullerits, T.; Stepanov, A.; Wolf, J. P.; Sundström, V. Organometal Halide Perovskite Solar Cell Materials Rationalized: Ultrafast Charge Generation, High and Microsecond-Long Balanced Mobilities, and Slow Recombination. *Journal of the American Chemical Society*. **2014**, *136*, 5189. [CrossRef]
- ²⁰ Jiang, M.; Wu, J.; Lan, F.; Tao, Q.; Gao, D.; Li, G. Enhancing the performance of planar organolead halide perovskite solar cells by using a mixed halide source *Journal of Materials Chemistry. A* **2015**, *3*, 963. [CrossRef]
- ²¹ Stranks, S. D.; Eperon, G. E.; Grancini, G.; Menelaou, C.; Alcocer, M. J. P.; Leijtens, T.; Herz Petrozza, L. M. A.; Snaith, H. J. Electron-Hole Diffusion Lengths Exceeding 1 Micrometer in an Organometal Trihalide Perovskite Absorber. *Science* **2013**, *342*, 341. [CrossRef]
- ²² Snaith, H. J. Perovskites: The Emergence of a New Era for Low-Cost, High-Efficiency Solar Cells. *Journal of Physical Chemistry Letters* **2013**, *4*, 3623. [CrossRef]
- ²³ Kim, H.-S.; Im, S. H., Park, N.-G. Organolead Halide Perovskite: New Horizons in Solar Cell Research. *Journal of Physical Chemistry C* **2014**, *118*, 5615. [CrossRef]
- ²⁴ Sum, T. C.; Mathews, N. Advancements in Perovskite Solar Cells: Photophysics Behind The Photovoltaics. *Energy & Environmental Science* **2014**, *7*, 2518. [CrossRef]
- ²⁵ OXFORD PV, The Oxford PV story. en. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.oxfordpv.com/oxford-pv-story>. Acesso em 13 fevereiro de 2019.
- ²⁶ Earnes, C.; Frost J. M.; Barnes, P. R. F.; O'Regan, B. C.; Walsh, A.; Islam, S. Ionic transport in hybrid lead iodide perovskite solar cells. *Nature Communications*, **2015**, *6*, 7497. [CrossRef]
- ²⁷ Heo, J. H.; Im, S. H.; Noh, J. H.; Mandal, T. N.; Lim, C. S.; Chang, J. A.; Lee, Y. H.; Kim, H. J.; Sarkar, A.; Nazeeruddin, M. K.; Grätzel, M.; Seok, S. I. Efficient Inorganic–Organic Hybrid Heterojunction Solar Cells Containing Perovskite Compound and Polymeric Hole Conductors. *Nature Photonics*, **2013**, *7*, 487. [CrossRef]

- ²⁸ Kanoun, A. A.; Kanoun, M. B.; Merad, A. E.; Goumri-Said, S. Toward Development of High-Performance Perovskite Solar Cells Based on $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{GeI}_3$ Using Computational Approach. *Solar Energy*, **2019**, *182*, 237. [CrossRef]
- ²⁹ Mahmood, K.; Sarwar, S.; Mehran, M. T. Current Status of Electron Transport Layers In Perovskite Solar Cells: Materials and Properties. *RSC Advances* **2017**, *7*, 17044. [CrossRef]
- ³⁰ Urieta-Mora, J.; Bentio-Garcís, I.; Molina-Ontoria, A.; Martín, N. Hole Transporting Materials for Perovskite Solar Cells: A Chemical Approach. *Chemical Society Reviews* **2018**, *47*, 8541. [CrossRef]
- ³¹ Qiu, Z. W.; Xu, Z. Q.; Li, N. X.; Zhou, N.; Chen, Y. H.; Wan, X. X.; Liu, J. L.; Li, N.; Hao, X. T.; Bi, P. Q.; et al. Monolithic Perovskite/Si Tandem Solar Cells Exceeding 22% Efficiency via Optimizing Top Cell Absorber. *Nano Energy*, **2018**, *53*, 798. [CrossRef]
- ³² Kar, M.; Korzdorfer, T. Computational Screening of Methylammonium Based Halide Perovskites With Bandgaps Suitable for Perovskite-Perovskite Tandem Solar Cells. *Journal of Chemical Physics* **2018**, *149* (21), 214701. [CrossRef]
- ³³ Siddiqui, H. Lead-Free Perovskite Quantum Structures Towards the Efficient Solar Cell. *Material Letters*, **2019**, *249*, 99. [CrossRef]
- ³⁴ Ansari, M. I. H.; Qurashi, A.; Nazeeruddin, M. K. Frontiers, Opportunities, and Challenges in Perovskite Solar Cells: A Critical Review. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* **2018**, *35*, 1. [CrossRef]
- ³⁵ Xu, L.; Imenabadi, R. M.; Vandenberghe, W. G.; Hsu, J. W. P. Minimizing Performance Degradation Induced by Interfacial Recombination in Perovskite Solar Cells Through Tailoring of the Transport Layer Electronic Properties. *APL Materials* **2018**, *6*(3), 036104. [CrossRef]
- ³⁶ Lazemi, M.; Asgharzadeh, S.; Bellucci, S. A Computational Approach to Interface Engineering of Lead-Free $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$ Highly-Efficient Perovskite Solar Cells. *Physical Chemistry Chemical Physics* **2018**, *20*(40), 25683. [CrossRef]
- ³⁷ Sheikh, A. D.; Patil, A. P.; Mali, S. S.; Hong, C. K.; Patil, P. S. New Insights Into Active-Area-Dependent Performance of Hybrid Perovskite Solar Cells. *Journal of Materials Science* **2019**, *54*(15), 10825. [CrossRef]
- ³⁸ Chen, C.; Li, H.; Jin, J. J.; Cheng, Y.; Liu, D. L.; Song, H. W.; Dai, Q. L. Highly Enhanced Long Time Stability of Perovskite Solar Cells by Involving a Hydrophobic Hole Modification Layer. *Nano Energy*, **2017**, *32*, 165. [CrossRef]
- ³⁹ Wang, Q. T.; Li, H. M.; Zhuang, J.; Ma, Z.; Wang, F.; Zhang, T.; Wang, Y. C.; Lei, J. B. Hole Transport Materials Doped to Absorber Film For Improving the Performance of the Perovskite Solar Cells. *Materials Science in Semiconductor Processing* **2019**, *98*, 113. [CrossRef]
- ⁴⁰ Zou, Y. Q.; Cui, Y.; Wang, H. Y.; Cai, Q. B.; Mu, C.; Zhang, J. P. Highly Efficient and Stable 2D–3D Perovskite Solar Cells Fabricated by Interfacial Modification. *Nanotechnology* **2019**, *30*(27), 275202. [CrossRef]
- ⁴¹ Sepalage, G. A.; Meyer, S.; Pascoe, A. R.; Scully, A. D.; Bach, U.; Cheng, Y. B.; Spiccia, L. A. A Facile Deposition Method for CsCN: Exploring the Influence of CsCN on J-V Hysteresis in Planar Perovskite Solar Cells. *Nano Energy*, **2017**, *32*, 310. [CrossRef]
- ⁴² Ree, J. J.; Jeong, C.; Park, H.; Kim, K. Context–Problem Network and Quantitative Method of Patent Analysis: A Case Study of Wireless Energy Transmission Technology. *Sustainability* **2019**, *11*(5), 1484. [CrossRef]
- ⁴³ Comino, S.; Manenti, F. M.; Thumm, N. The Role of Patents in Information and Communication Technologies: A Survey of the Literature. *Journal of Economic Surveys* **2019**, *33*(2), 404. [CrossRef]
- ⁴⁴ Ashtor, J. H. Does Patented Information Promote the Progress of Technology? Supplemental Materials. *Northwestern University Law Review*. **2019**, *113*(5), 943. [CrossRef]
- ⁴⁵ Maravilhas, S. Patent Information Visualization: The Use of Social Media for Its Selective Dissemination and to Leverage Innovation. *Universal Access in the Information Society* **2017**, *16*, 913. [CrossRef]
- ⁴⁶ Chaves, C. V.; Albuquerque, E. D. M. E.; Desconexão no Sistema de Inovação no Setor Saúde: Uma Avaliação Preliminar do Caso Brasileiro a Partir de Estatísticas de Patentes e Artigos. *Economia Aplicada*, **2006**, *10*, 523. [CrossRef]
- ⁴⁷ Gonçalves E.; Cóser I. O Programa de Incentivo à Inovação como Mecanismo de Fomento ao Empreendedorismo Acadêmico: A Experiência da UFJF. *Nova Economia* **2014**, *24*, 555. [CrossRef]
- ⁴⁸ Baldini, N.; Grimaldi, R.; Sobrero, M. To Patent or Not To Patent? A Survey of Italian Inventors on Motivations, Incentives, and Obstacles to University Patenting. *Scientometrics*, **2007**, *70*, 333. [CrossRef]
- ⁴⁹ Canalli, W.; Silva, R. P.; *Uma breve história das patentes: analogias entre ciência/tecnologia e trabalho intelectual/trabalho operacional*. Disponível em <<http://www.hcte.ufrj.br/downloads/sh/sh4/trabalhos/Waldemar%20Canalli.pdf>>. Acesso em abril de 2019.

- ⁵⁰ Vanin, C. *Propriedade Intelectual: conceito, evolução histórica e normativa, e sua importância*. Disponível em: <<https://duduhvanin.jusbrasil.com.br/artigos/407435408/propriedade-intelectual-conceito-evolucao-historica-e-normativa-e-sua-importancia>>. Acesso em abril de 2019
- ⁵¹ Brasil. Lei n. 9.279, de 14 de maio de 1996. Regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial. Diário Oficial da União 1996; 15 maio.
- ⁵² Disponível em: <<https://www.wipo.int/pct/pt/index.html>>. Acesso em Abril de 2019.
- ⁵³ <http://www.nbb.com.br/pub/denis/acordo_TRIPs.pdf>. Acesso em abril de 2019>.
- ⁵⁴ Sítio da Espacenet. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/>. Acesso em junho de 2019.
- ⁵⁵ InCites Journal Citation Reports (JCR). Disponível em: <https://jcr.incites.thomsonreuters.com/>. Acesso em abril de 2019.
- ⁵⁶ Critérios de classificação Qualis (Química). Disponível em https://www.capes.gov.br/images/stories/download/.../Docs_de.../qualis/quimica.doc. Acesso em abril de 2019.
- ⁵⁷ Sítio da CAPES. Disponível em: <[http://www-periodicos-capes-gov-br.ez49.periodicos.capes.gov.br/](http://www.periodicos-capes.gov.br/ez49.periodicos.capes.gov.br/)>. Acesso em abril de 2019.
- ⁵⁸ Sítio da Organização Mundial de Propriedade Intelectual. Disponível em: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_946.pdf. Acesso em Junho de 2019.
- ⁵⁹ Sítio do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/indicadores/detalhe/Manuais/Manuais.html>. Acesso em Junho de 2019.
- ⁶⁰ Anuranjana; Mittas. N.; Mehrotra D. Clustering the Patent Data Using K-Means Approach. In: Hoda M.; Chauhan N.; Quadri S.; Srivastava P.; eds.; Software Engineering. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 731. Springer: Singapore **2019**. [CrossRef]
- ⁶¹ CRAN. The Comprehensive R Archive Network. Disponível em: <https://cran.r-project.org/>. Acesso em novembro de 2018.
- ⁶² Cho, C. R. KR2011091291-A1, Coreia do Sul. 2011.
- ⁶³ Gyu, P. N. KR1172374-B1, Coreia do Sul. 2012.
- ⁶⁴ Lee, M. M.; Teuscher, T.; Miyasaka, T.; Murakami, T. N.; Snaith, H. J. Efficient Hybrid Solar Cells Based on Meso-Superstructured Organometal Halide Perovskites. *Science*, **2012**, 338(6107), 643. [CrossRef]
- ⁶⁵ Kim, H. S.; Lee, C. R.; Im, J. H.; Lee, K. B.; Moehl, T.; Marchioro, A.; Moon, S. J.; Humphry-Baker, R.; Yum, J. H.; Moser, J. E.; Grätzel, M.; Park, N. G. Lead Iodide Perovskite Sensitized All-Solid-State Submicron Thin Film Mesoscopic Solar Cell with Efficiency Exceeding 9%. *Scientific Reports*, **2012**, 2, 591. [CrossRef]
- ⁶⁶ Yakuta, Y. JP2012251082-A, Japão. 2012.
- ⁶⁷ Baikie, T.; Fang, Y.; Kadro, J.M.; Schreyer, M.; Wei, F.; Mhaisalkar, S.G.; Grätzel, M.; White, T.J. Synthesis and Crystal Chemistry of The Hybrid Perovskite (CH₃NH₃)PbI₃ for Solid-State Sensitised Solar Cell Applications. *Journal of Materials Chemistry A* **2013**, 1(18), 5628. [CrossRef]
- ⁶⁸ Burschka, J.; Pellet. N.; Moon, S. J.; Humphry-Baker, R.; Gao, P.; Nazeeruddin, M. K.; Grätzel, M. Sequential deposition as a route to high-performance perovskite-sensitized solar cells. *Nature* **2013**, 499(7458), 316. [CrossRef]
- ⁶⁹ Xing, G.; Mathews, N.; Sun, S.; Lim, S. S.; Lam, Y. M.; Grätzel, M.; Mhaisalkar, S.; Sum, T. C. Long-Range Balanced Electron- and Hole-Transport Lengths in Organic-Inorganic CH₃NH₃PbI₃. *Science* **2013**, 342(6156), 344 [CrossRef]
- ⁷⁰ Liu, M.; Johnston, M. B.; Snaith, H. J. Efficient Planar Heterojunction Perovskite Solar Cells by Vapour Deposition. *Nature*, **2013**, 501(7467), 395. [CrossRef]
- ⁷¹ Sítio da University of Oxford. Disponível em <https://innovation.ox.ac.uk/about/>. Acesso em junho de 2019.
- ⁷² Lei 13.243 de 11 de Janeiro de 2016. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm#art2>. Acesso em junho de 2019.
- ⁷³ Snaith, H. WO2013171520-A1, **2013**.
- ⁷⁴ Snaith, H. WO2013171518-A1, **2013**.
- ⁷⁵ Snaith, H. WO2013171517-A1, **2013**.
- ⁷⁶ Sternitzke, C. An Exploratory Analysis of Patent Fencing in Pharmaceuticals: The Case of PDE5 Inhibitors. *Research Policy*. **2013**, 42(2), 542. [CrossRef]
- ⁷⁷ Silva. M. B. et al. Depósitos de patentes e valor de mercado: o caso da Petrobrás. Proceeding of ISTI/SIMTEC – ISSN:2318-3403 Aracaju/SE – 19 A 21/09/ **2018**. Vol. 9/N.1/ P.806-815. [CrossRef]
- ⁷⁸ Santos, J. G. C. D. Evidências dos Ativos Intangíveis no Contexto Brasileiro: Representatividade, Caracterização, Percepção de Mercado e Desempenho. *Revista Contabilidade e Controladoria*, **2015**, 7, 85. [CrossRef]

- ⁷⁹ Ritta, C. de O.; Cunha, L. C.; Klann, R. C. Um Estudo Sobre Causalidade Entre Ativos Intangíveis e Desempenho Econômico de Empresas (2010 - 2014). *Revista de Contabilidade do Mestrado em Ciências Contábeis da UERJ (on line)*, **2017**, 22(2), 92. [CrossRef]
- ⁸⁰ Green, M. A.; Ho-Baillie, A.; Snaith, H. J. The Emergence of Perovskite Solar Cells. *Nature Photonics* **2014**, 8, 506. [CrossRef]
- ⁸¹ Green, M. A.; Hishikawa, Y.; Dunlop, E. D.; Levi, D. H.; Hohl-Ebinger, J.; Yoshita, M.; Ho-Baillie, A. W. Y. Solar cell efficiency tables (Version 53). *Progress in Photovoltaic Research and Applications*, **2019**, 27, 3. [CrossRef]
- ⁸² Xie, F.; Chen, C. C.; Wu, Y.; Li, X.; Cai, M.; Liu, X.; Yang, X.; Han, L. Vertical Recrystallization for Highly Efficient and Stable Formamidinium-Based Inverted-Structure Perovskite Solar Cells. *Energy & Environmental Science* **2017**, 10, 1942. [CrossRef]
- ⁸³ Rong, Y.; Hu, Y.; Mei, A.; Tan, H.; Saidaminov, M. I.; Seok, S. I.; McGehee, M. D.; Sargent, E. H.; Han, H. Challenges for Commercializing Perovskite Solar Cells. *Science*, **2018**, 361, eaat8235. [CrossRef]
- ⁸⁴ Marshall, K. P.; Walton, R. I.; Hatton, R. A. Tin Perovskite/Fullerene Planar Layer Photovoltaics: Improving the Efficiency and Stability of Lead-Free Devices. *Journal of Materials Chemistry A*, **2015**, 3(21), 11631. [CrossRef]
- ⁸⁵ Cai, M. L.; Wu, Y. Z.; Chen, H.; Yang, X. D.; Qiang, Y. H.; Han, L. Y. Strategies Based on Nitride Materials Chemistry to Stabilize Li Metal Anode. *Advanced Science* **2017**, 4, 16000269. [CrossRef]
- ⁸⁶ Jung, M. C.; Raga, S. R.; Qi, Y. B. Properties and Solar Cell Applications of Pb-Free Perovskite Films Formed by Vapor Deposition. *RSC Advances* **2016**, 6, 2819. [CrossRef]
- ⁸⁷ Lyu, M. Q.; Yun, J. H.; Cai, M. L.; Jiao, Y.; Bernhardt, P. V.; Zhang, M.; Wang, Q.; Du, A.; Wang, H.; Liu, G.; Wan, L. Organic-Inorganic Bismuth (III)-Based Material: A Lead-Free, Air-Stable and Solution-Processable Light-Absorber Beyond Organolead Perovskites. *Nano Research*, **2016**, 9, 692. [CrossRef]
- ⁸⁸ Mao, X.; Sun, L.; Wu, T.; Chu, T. S.; Deng, W. Q.; Han, K. L. First-Principles Screening of All-Inorganic Lead-Free ABX₃ Perovskites. *Journal of Physical Chemistry C* **2018**, 122, 7670. [CrossRef]
- ⁸⁹ Sun, Q. D.; Wang, J.; Yin, W. J.; Yan, Y. F. Bandgap Engineering of Stable Lead Free Oxide Double Perovskites for Photovoltaics. *Advanced Materials* **2018**, 30, 1705901. [CrossRef]
- ⁹⁰ Sítio da ECNTNO Disponível em: <https://www.tno.nl/en/focus-areas/ecn-part-of-tno/roadmaps/towards-ubiquitous-solar-energy/from-successful-tests-to-real-thin-film-products/perovskite-based-solar-cells-young-technology-high-efficiency-potential/>. Acesso em junho de 2019.
- ⁹¹ Wang, Y.; Han, L. Research activities on perovskite solar cells in China. *Science China Chemistry* **2019**, 62(7), 822. [CrossRef]
- ⁹² Sítio da CintelIQ. Disponível em: <https://www.cintelIQ.com/research/report/perovskite/>. Acesso em junho de 2019.
- ⁹³ Top 10 Breakthroughs 2013. Disponível em: <https://www.sciencemag.org/news/2013/12/sciences-top-10-breakthroughs-2013>. Acesso em junho de 2019.
- ⁹⁴ Chesbrough, H. W. The Era of Open Innovation. *MIT Sloan Management Review*, **2003**, 44(3), 35.
- ⁹⁵ Lopes, A. P. V. B. V.; Ferrarese, A.; Carvalho, M. M. Inovação Aberta no Processo de Pesquisa e Desenvolvimento: Uma Análise da Cooperação Entre Empresas Automotivas e Universidades. *Gestão & Produção São Carlos* **2017**, 24 (4), 653. [CrossRef]
- ⁹⁶ Stal, E.; Nohara, J. J.; Chagas Jr., M. F. Os Conceitos da Inovação Aberta e o Desempenho de Empresas Brasileiras Inovadoras. *RAI- Revista de Administração e Inovação* **2014**, 11(2), 295. [CrossRef]
- ⁹⁷ Pitassi, C. A Virtualidade nas Estratégias de Inovação Aberta: Proposta de Articulação Conceitual. *RAP - Rio de Janeiro* **2012**, 46(2), 619.
- ⁹⁸ Chesbrough, H. W. Bringing Open Innovation to Services. *MIT Sloan Management Review*, **2011**, 52(2), 85.
- ⁹⁹ Dahlander, L.; Gann, D. M. How open is innovation? *Research Policy* **2010**, 39, 699. [CrossRef]
- ¹⁰⁰ Chesbrough, H. W. The Logic of Open Innovation: Managing Intellectual Property. *California Management Review* **2003**, 45(3), 33. [CrossRef]
- ¹⁰¹ Nagano, M. S.; Stefanovitz, J. P.; Vick, T. E. *Revista Brasileira de Gestão e Negócios* **2014**, 16, 163.
- ¹⁰² Sítio do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/indicadores/detalhe/Manuais/Manuais.html>. Acesso em Junho de 2019.
- ¹⁰³ Perkmann, M.; Walsh, K. University-Industry Relationships and Open Innovation: Towards a Research Agenda. *International Journal of Management Reviews* **2007**, 9, 259. [CrossRef]

¹⁰⁴ Pereira, F. C.; Costa, H. G.; Pereira, V. Patent filings versus articles published: A Review of the Literature in the Context of Multicriteria Decision Aid. *World of Patent Information* **2017**, *50*, 17 [CrossRef]

¹⁰⁵ Netanel, N.W.; *The Development Agenda: Global Intellectual Property and Developing Countries*, Oxford University Press: Oxford, 2009.

¹⁰⁶ Lei 10.973 de 2 de Dezembro de 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIV-IL_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.973.htm>. Acesso em junho de 2019.

¹⁰⁷ Decreto 9.283 de 7 de fevereiro de 2018. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2018/decreto-9283-7-fevereiro-2018-786162-publicacaooriginal-154848-pe.html>>. Acesso em junho de 2019.

¹⁰⁸ Arbix, G.; Miranda, Z.; Toledo, D.; Zancul, E. Made in China 2025 e Industria 4.0: A Dífícil Transição Chinesa do Catching Up à Economia Puxada pela Inovação. *Tempo Social, revista de sociologia da USP* **2018**, *30*, 143. [CrossRef]

¹⁰⁹ Segalla, A. Saiba como a China Virou o País da Inovação Tecnológica. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2018/08/09/internas_economia,979042/como-a-china-virou-o-pais-da-inovacao-tecnologica.shtml>. Acesso em junho de 2019.

¹¹⁰ Sítio da SES – SP. Disponível em: <http://ses.sp.bvs.br/wp-content/uploads/2016/07/Mundo_Afora_10_incentivo-%C3%A0-inova%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em Junho de 2019.

¹¹¹ Sítio do IEDI. Disponível em: <https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_847.html>. Acesso em Junho de 2019.

Material Suplementar

Construção de gráficos usando ggplot2

A construção de cada gráfico no RStudio foi realizado empregando-se a seguinte sintaxe:

```
tg -> ggplot(termos.gerais, aes(JIF, pubs.solar, colour = factor(Material))) + theme_bw() + geom_point(alpha=1/5) + labs(y = "Número de publicaçõess", x = "Journal Impact Factor") + scale_color_lancet() + scale_fill_lancet()
```

onde *tg* é a identificação do gráfico, *ggplot* é a função utilizada para criar o gráfico, *termos.gerais* é o nome do *data.frame* que está sendo acessado, *aes* é a função em que estão contidos os dados para os eixos horizontal (JIF) e vertical (*pubs.solar*), *colour* indica qual fator será diferenciado pela cor, *theme bw()* é a estética de visualização, *geom point* é a função que cria os pontos adicionados ao gráfico, *alpha* é o grau de opacidade do ponto, *labs* indicam a legenda para os eixos, *scale color lancet* e *scale fill lancet* indicam uma paleta de cores específica para cor e preenchimento dos objetos no gráfico.

Construção das curvas de regressão Polinomial

As curvas de regressão polinomial, apresentadas na Figura 3 foram construídas adicionando a função "*geom smooth*" com a seguinte sintaxe:

```
tg + geom_smooth(method = "loess", formula = y~x, span = 0.4)
```

onde:

method = "loess" que realiza o ajuste polinomial utilizando os pontos vizinhos a x. O tamanho dessa vizinhança é determinado pelo valor de *span* (α) (ETHZ. R: Local Polynomial Regression Fitting. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/stats/html/loess.html>. Acesso em novembro de 2018.

Construção dos gráficos do tipo aluvial

Os gráficos apresentados nas Figuras 5 e 6 foram construídos utilizando-se um pacote específico chamado "*ggalluvial*", por meio da seguinte sintaxe:

```
tg + geom_flow(aes.flow = "forward") + geom_alluvium(aes(fill = Tipo)) + geom_stratum(width = 1/3) + geom_label(stat = "stratum", label.strata = TRUE, size = 3)
```

onde:

geom flow descreve o sentido do fluxo por meio do parâmetro "*aes.flow*" (esquerda para direita), *geom alluvium* descreve o tipo de informação representada pelo fluxo, *geom stratum* representa as colunas. Nesse caso somente a largura foi redefinida por meio do parâmetro "*width*", *geom label* determina a posição (*stat*) e o tamanho (*size*) das legendas.