

O POTENCIAL DA ECONOMIA CIRCULAR FRENTE À INDÚSTRIA 4.0

Lucas Moraes Freire – lucas22@ufrn.edu.br

Bacharelado em Ciências e Tecnologia - Escola de Ciências e Tecnologia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN – Natal/RN – Brasil

Livia Stefanny de Moura Felipe – liviamoura@ufrn.edu.br

Bacharelado em Ciências e Tecnologia - Escola de Ciências e Tecnologia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN – Natal/RN – Brasil

Luiz Felipe de Lima Freire – luizfelipe225@ufrn.edu.br

Bacharelado em Ciências e Tecnologia - Escola de Ciências e Tecnologia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN – Natal/RN – Brasil

Marcos Vinícius Luna Araújo – marcos.luna@ufrn.edu.br

Bacharelado em Ciências e Tecnologia - Escola de Ciências e Tecnologia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN – Natal/RN – Brasil

Raphael Ramos da Silva – raphaelramosds@ufrn.edu.br

Bacharelado em Ciências e Tecnologia - Escola de Ciências e Tecnologia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN – Natal/RN – Brasil

Nathália Gabrielly Silva Souza – nathalia.gbri@gmail.com

Bacharelado em Ciências e Tecnologia - Escola de Ciências e Tecnologia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN – Natal/RN – Brasil

Zulmara Virgínia de Carvalho – zulmara@ect.ufrn.br

Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação – PPgCTI Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN – Natal/RN – Brasil

Resumo — O fenômeno ímpar da Indústria 4.0 se desenvolve na primeira metade do século XXI e faz o desenvolvimento tecnológico gerar inovações por meio das chamadas tecnologias habilitadoras. Tais transformações trazem à tona a preocupação mundial de como o desenrolar desse cenário pode ser aproveitado para cuidar de questões ambientais. Nesse sentido, o trabalho em pauta fornece um panorama da importância dada ao caráter ambiental, relacionando-o com o desenvolvimento técnico e científico proveniente da Quarta Revolução Industrial com a Economia Circular, temática esta adotada como o objeto de estudo deste labor, que se opõe à linha extração-produção-utilização-descarte. Para cumprir este objetivo, foram aplicadas técnicas de mapeamento de prospecções tecnológicas e mercadológicas que vão poder direcionar o leitor a ter noções das criações de patentes classificadas como invenções sustentáveis e como elas estão influenciando o interesse de pessoas físicas e empresas presentes no mercado financeiro. Os dados prospectados indicaram que a economia circular é um tema que pode ser considerado consolidado, devido a existência do registro de patentes seculares. Além do mais, a análise mercadológica evidencia que empresas envolvidas com a economia circular estão inseridas, principalmente, nos setores químico e da indústria 4.0. Ainda, notou-se que o Brasil está posicionado entre os três países mais atentos às patentes que basearam-se nessa filosofia de circularidade dos materiais, colocando-se à frente de potências como Estados Unidos e China.

Palavras-chave — Circularidade, economia, indústria 4.0, patentes, prospecção.

Abstract — The unique phenomena that is Industry 4.0 develops in the first half of the XXI century and makes the technological advancements generate new innovations through the so-called technology-enabled platforms. Such transformations bring up the worldwide concern of how this topic's maturing can be harnessed to tackle environmental issues. Following this line of thought, this work shows an overview about the given matter onto the environmental aspect, linking the technic and scientific developments provided by the Fourth Industrial Revolution and the circular economy idea. Such thematic is this paper's main object of

study, which opposes the trend of use-it-up-and-throw-it-away. To achieve such target, prospection techniques were used to guide the reader to be conscious of patents classified as sustainable inventions and how they are influencing the interest of people and companies that are present in the financial market. The analysis of the prospected data showed that circular economy is a consolidated topic, since the existence of patents registered from the beginning of the XIX century. Moreover, this market's analysis evinces that companies involved with Circular Economy are mainly inserted in the chemical sectors, as well as on those related to Industry 4.0. Brazil's involvement among the top 3 countries that are most attentive to patents based on the material circularity philosophy is remarkable, outranking the United States and China.

Keywords — Circularity, economy, industry 4.0, patents, prospection.

1 INTRODUÇÃO

Obter informações sobre o mercado e a indústria mundial é uma ferramenta muito valiosa para investidores e empreendedores terem uma confiança maior em suas decisões (ANTUNES, 2018). Um exemplo de campo de investimentos muito promissor é o da Economia Circular, como será demonstrado neste trabalho, uma proposta de um sistema econômico que prioriza a longa vida dos produtos, reuso e reciclagem; fatores importantes para uma sociedade que cada vez mais almeja sustentabilidade e preservação ambiental (SWIFT, 2020). Além disso, um mercado que passará por tais mudanças precisará do desenvolvimento de novas tecnologias que habilitam essa troca, tais que caracterizam a base do que se define por Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta revolução industrial, porquanto suas inovações acarretarão mudanças na economia global (KUMAR, 2019).

Tendo isso em vista, foram realizadas diversas prospecções em bancos de dados patentários diferentes a fim de gerar uma fonte compreensível de informações sobre a Economia Circular relacionada às tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, intentando chamar atenção para o potencial de investimentos na área em questão. Tais pesquisas têm o objetivo de informar qualquer entidade interessada sobre a correlação entre esses conceitos e as principais modernizações e *players* no campo. Para evidenciar a importância deste trabalho, uma prospecção de tendências, realizada na plataforma *Google Trends*, mostra um crescimento de 212% no interesse entre 2012 e 2020; e aumentos ainda maiores nas áreas tecnológicas motivando uma projeção que indica a ascensão do cenário da Economia Circular vinculada à Indústria 4.0.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A IV Revolução Industrial

Novas formas de tecnologias emergem no século XXI e tornam as barreiras entre o mundo biológico, digital e físico cada vez mais inexistentes. Tais maneiras de *fazer tecnologia* fazem com que o mundo veja transformações que provocam aderências tecnológicas as quais vão desde o sistema de produção nas indústrias até o cotidiano das pessoas e podendo mesmo colaborar no desenvolvimento infraestrutural, ambiental e econômico de um país (SCHWAB, 2016). Esse conjunto de transformações contam com as chamadas tecnologias habilitadoras, como por exemplo, inteligência artificial, robótica avançada, internet das coisas, manufatura aditiva e digital, entre outras, as quais alavancam as características citadas anteriormente e, consoante Klaus Schwab (2016), definem o que se conhece pela quarta Revolução Industrial ou a Indústria 4.0.

Nessa linha de raciocínio, conforme destaca Fernandes (2020) ao discorrer a respeito dos resultados provocados pela Indústria 4.0, as características citadas anteriormente dão margem às consequências que se refletem em todas as organizações que as adotam, bem como o crescimento dos lucros, decréscimo dos gastos, melhoria na experiência dos clientes e a sua lealdade em relação aos produtos oferecidos, adoção de novos modelos de negócios e, como trata-se de uma indústria que engloba muitas áreas de atuação da informática, há ainda o forte potencial de criação de inovações as quais atraem cada vez mais a atenção de novos *players* no mercado financeiro (FERNANDES, 2020).

2.2 A Economia Circular

Diante da imensa capacidade tecnológica e produtiva da Indústria 4.0, é necessário rever a persistente problemática quanto ao uso desmedido dos recursos naturais disponíveis. O modelo

econômico linear vigente é estruturado em um raciocínio de *extração-produção-utilização-descarte* e com os altos níveis de consumo, esse processo alcança proporções alarmantes, considerando que o planeta oferta uma quantidade limitada de tais recursos (LEITÃO, 2015).

Nesse sentido, a adoção do conceito de Economia Circular apresenta-se como uma solução viável e equilibrada entre mercado e meio ambiente. Fundamentado na regeneração dos sistemas naturais, na minimização do desperdício e poluição e no aumento da vida útil dos produtos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, [2009 - 2020]), esse modelo econômico circular promove a reinserção de matéria no final de vida útil no processo de fabricação, ou seja, os recursos já utilizados voltam ao ciclo de produção para serem matéria-prima de novos produtos (LEITÃO, 2015).

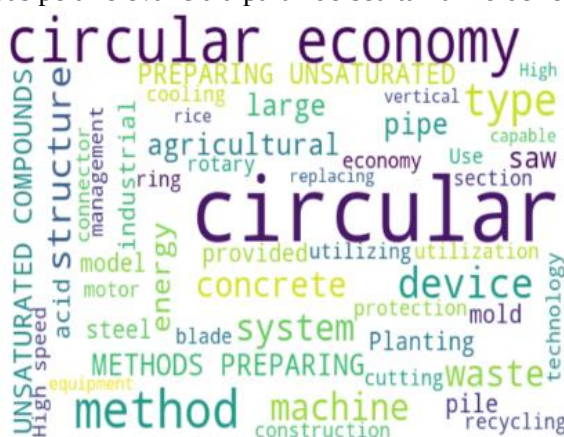
No contexto da Quarta Revolução Industrial, o paradigma da Economia Circular (EC) apresenta novas oportunidades de negócios e empregos, sustenta uma relação harmoniosa entre natureza, mercado e consumo, fomenta a competitividade entre as empresas e gera produtos com maior durabilidade. Outros aspectos importantes do modelo consistem no estímulo à criação de novas tecnologias e áreas de pesquisa e incentivo à adoção de práticas sustentáveis (MCGINTY, 2021).

3 METODOLOGIA

A estrutura metodológica deste trabalho baseia-se em uma pesquisa exploratória e analítica dos cenários científicos, tecnológicos e mercadológicos das bases da Indústria 4.0 atreladas à economia circular.

Para iniciar o desenvolvimento da pesquisa, foi feito um mapeamento científico da prospecção de dados sobre o tema em três bancos patentários: *Spacenet*, *Google Patents* e *The Lens*. Entretanto, é necessário lembrar que antes desse processo, usou-se a ferramenta *Supernova* a fim de realizar a busca, em inglês, pela palavra-chave mais relevante do assunto abordado, o termo escolhido foi *Circular Economy*, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1. Palavras-chave retornadas pela plataforma Supernova classificadas pela relevância a partir do seu tamanho de fonte



Fonte: *Espacenet* (2021)

A partir da palavra-chave, foi executada uma pesquisa patentária nas plataformas citadas a partir do dia 26/02/2021. Foram utilizados, também, termos referentes à indústria 4.0: *Big Data*, *Big Data Analytics*, *Augmented Reality*, *3D Printing*, *Additive Manufacturing*, *Cloud Computing*, *Advanced Robotics*, *Autonomous Robots*, *Robot*, *Simulation*, *Artificial Intelligence*, *Machine Learning*, *Cognitive Computing*, *System Integration*, *Internet of Things*, *RFID*, *Smart Sensor*, *Machine to Machine*, *Cybersecurity*, *Computer security* e *Information Technology Security*.

Nesse íterim, como mostra a Tabela 1, observou-se que em cada banco patentário era necessário uma escrita diferente da combinação da palavra chave principal e as relacionadas com as tecnologias

habilitadoras. Entretanto, as três plataformas apresentavam a mesma lógica no uso dos conectivos lógicos *AND* (indica o caráter exclusivo entre duas palavras, equivalente ao *E*, na língua portuguesa) e *OR* (indica o caráter inclusivo, equivalente ao *OU*, na língua portuguesa) nas consultas. Por exemplo, ao escrever a *query* *Circular Economy AND System Integration*, o sistema de gerenciamento de dados vai retornar todos os tópicos que relacionam simultaneamente o tema economia circular e sistemas de integração, não admitindo a alternatividade entre eles.

Tabela 1. Formatação de pesquisa por plataforma.

Plataforma	Estrutura
Espacenet	“Circular Economy” AND (("Termo 1" OR "Termo 2" OR “Termo N”))
Google Patents	(ECONOMIA CIRCULAR) ((Termo 1) OR (Termo N))
The Lens	(Circular Economy) AND ((Termo 1) OR (Termo N)))

Fonte: os Autores

Após isso, os dados mais relevantes¹ foram armazenados em uma planilha no *Google Sheet*, plataforma esta que auxiliou toda a análise e representação dos dados prospectados. Além do mais, é necessário lembrar que a prospecção levou tanto em consideração as patentes empresariais como as acadêmicas, haja vista que especificamente na plataforma *The Lens* foram analisados a quantidade de trabalhos acadêmicos, trabalhos citados por patentes, citações de patentes, trabalhos citados por acadêmicos e citações acadêmicas de todas as publicações da economia circular e das tecnologias habilitadoras. Na sequência, utilizou-se das prospecções anteriores para identificar os principais inventores, a evolução temporal das patentes publicadas, a participação de jurisdições no desenvolvimento das patentes e os *players* mais relevantes que estão investindo nas patentes, as quais têm como base os setores da economia circular.

Em seguida, foi feita a prospecção de tendências e/ou interesses na plataforma *Google Trends*, na qual visou a busca de gráficos informativos sobre o interesse ao longo do tempo do objeto de estudo com os filtros: *a partir de 2004, no mundo inteiro, em todas as categorias e pesquisa na web, interesse por região, assuntos relacionados e consultas relacionadas*. Nessa mesma etapa, usou-se a plataforma web *Strategic Intelligence - The World Economic Forum* para uma análise qualitativa em artigos que discorreram acerca das tendências vinculadas à pesquisa.

Finalmente, na análise mercadológica, após a identificação dos líderes patentários do setor, foi pesquisado sobre o valor de mercado e a movimentação financeira anual de cada *player*, e, no repositório patentário do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), verificou-se se essas companhias identificadas possuíam depósitos patentários no Brasil através dos filtros de busca *Contenha todas as palavras e Nome do depositante*.

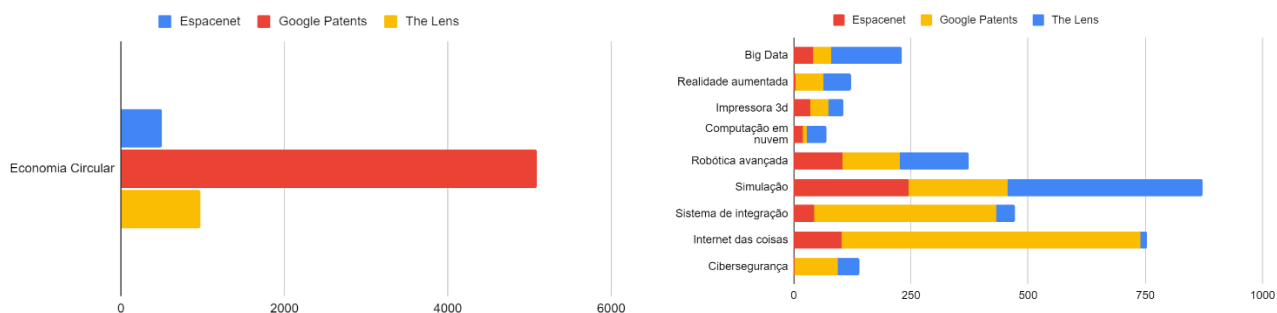
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 O Cenário Tecnológico 4.0

Utilizando as combinações de palavras chaves citadas na metodologia, foram obtidas as quantidades de dados das patentes mais relevantes apresentadas no gráfico presente na Figura 2. Como se pode observar, vale o destaque da influência dos setores de economia circular nas áreas de Internet das coisas, de Simulação (Inteligência Artificial), de Robótica Avançada e de Sistemas de Integração, as quais retornaram 753, 872, 373 e 472 resultados relevantes, respectivamente.

¹ Os filtros para a obtenção destes dados relevantes foram feitos de formas diferentes nas plataformas utilizadas. Nos bancos patentários *Spacenet* e *The Lens* utilizou-se um limite de 500 a 1000 documentos relevantes, já o algoritmo de filtragem do *Google Patents* faz essa seleção de forma automática, tanto é que o botão *Sort by Relevance* é marcado por padrão e, ao fazer o *download* da planilha, obtêm-se os documentos considerados como os mais pertinentes.

Figura 2. Frequência dos resultados tanto de somente economia circular como desta e as tecnologias habilitadoras por banco patentário



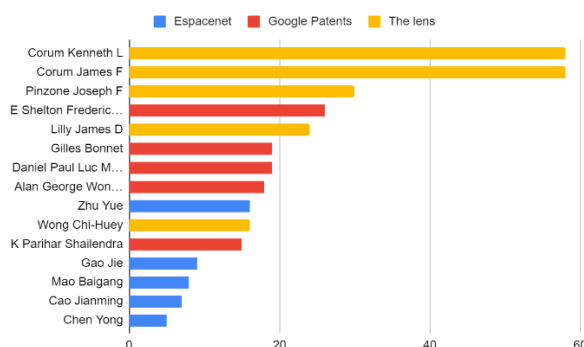
Fonte: *Espacenet, Google Patents, The Lens* (2021)

Após ter feito todas as prospecções necessárias que envolviam o cenário tecnológico, foi necessário pontuar uma discrepância na formatação dos dados retornados pelo *Espacenet* que acabou por limitar a extração das informações. Em linhas gerais, esta plataforma retornou os principais inventores e investidores em células de planilhas onde há uma correspondência de duas ou mais pessoas para uma célula, as quais são separadas apenas por espaços, e não por ponto e vírgula. Isso acabou por induzir a conclusão dos analistas de dados deste trabalho em apenas considerar os inventores e investidores que sejam únicos para cada patente, isto é, especialmente nesta plataforma não considerou-se dois ou mais autores ou identidades vinculadas a uma mesma patente. Além disso, alguns nomes de inventores presentes no *Google Patents* tiveram que ser descartados por razões de serem abreviados ou apenas terem o primeiro nome (e ainda assim abreviado), o que dificultaria, pois, a apresentação destes dados nessa análise do mapeamento tecnológico. Mas mesmo com essas discrepâncias, é necessário reconhecer a consolidação das plataformas utilizadas, pois o uso delas se apresentou bastante útil para o desenvolvimento das análises desta pesquisa.

Para analisar o cenário tecnológico das publicações de patentes que envolvem a economia circular e as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, faz-se necessário analisar diferentes distribuições dos principais dados coletados. Seguem as análises feitas dos principais inventores e investidores, da evolução temporal das publicações das patentes e as principais jurisdições envolvidas no desenvolvimento de criação delas.

A Figura 3 apresenta a distribuição de patentes por cada cinco principais inventores identificados em cada banco patentário. Nele, nota-se um destaque de publicações para os autores Pinzone Joseph, Corum Kenneth e Corum James com mais de 40 patentes registradas, os quais representam 78,5% das principais patentes publicadas no *The Lens*, e 44% das publicadas nas três plataformas.

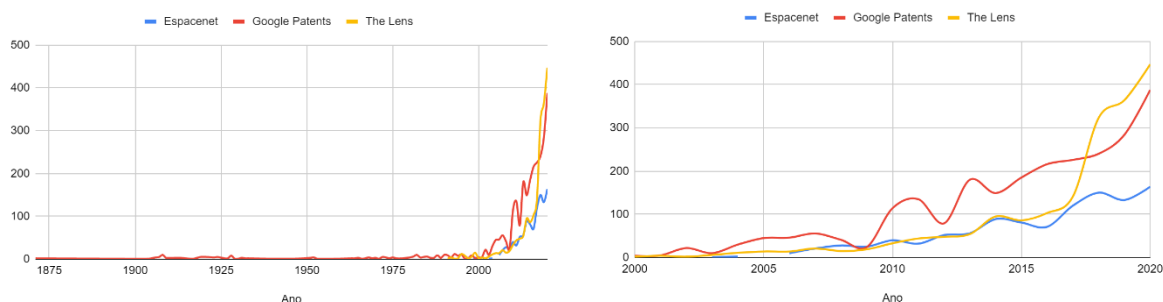
Figura 3. Distribuição dos principais inventores tendo como base os três bancos patentários



Fonte: *Espacenet, Google Patents, The Lens* (2021)

Além disso, pode-se observar uma média aproximada de 44 publicações por cada inventor, o que nos revela uma maior concentração de patentes para estas pessoas em comparação com os *outliers*² de autores de patentes identificados na pesquisa.

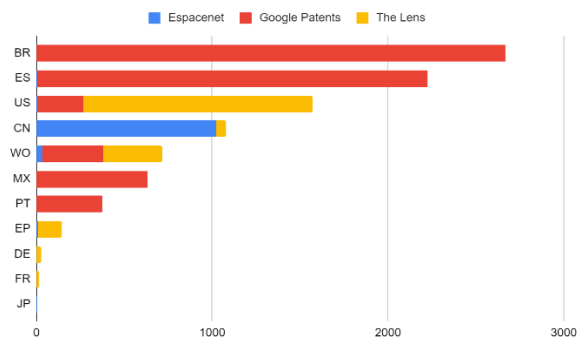
Figura 4. Distribuição do número de patentes com base nos três bancos patentários ao longo do intervalo temporal de 1875 a 2020. Evolução temporal entre 1875 e 2020 (à esquerda). Recorte da Evolução temporal entre 2000 e 2020 (à direita)



Fonte: Espacenet, Google Patents, The Lens (2021)

A Figura 4 analisa a evolução temporal das patentes de acordo com os dados prospectados nas três plataformas de pesquisa. Diante dos dados relatados, é possível perceber que existem patentes datadas desde meados de 1875, segundo as informações fornecidas pelo *Google Patents*. Entretanto, as plataformas *Spacenet* e *The Lens* apenas registraram patentes a partir do final do século XX e início do século XXI. Nesse período, observa-se um acelerado aumento da proteção intelectual no campo da economia circular vinculado às tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. Contudo, o ápice do interesse patentário ocorreu somente no ano de 2020.

Figura 5. Distribuição de patentes por jurisdição de acordo com os dados dos três bancos patentários



Fonte: Espacenet, Google Patents, The Lens (2021)

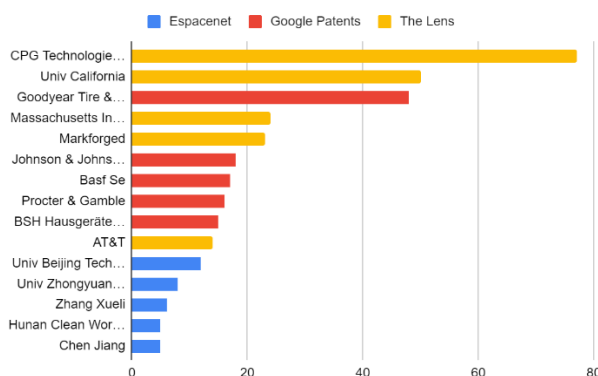
Conforme as prospecções realizadas nas ferramentas de pesquisa, a Figura 5 fornece um comparativo da distribuição de patentes por jurisdição. O Brasil destaca-se entre os demais países com o maior número de patentes, consoante aos dados do *Google Patents*, acumulando mais de 2500 patentes no total registrado. Outro país com grande evidência quanto ao número de patentes na plataforma, é a Espanha, ultrapassando 2000 patentes registradas. Em seguida, nota-se os Estados Unidos, que detém a quantidade majoritária de patentes apresentadas no *The Lens*. Outro destaque, dessa vez na plataforma Espacenet, é a China, agregando pouco mais de 1000 patentes. Vale ressaltar que em quinto lugar no ranking de jurisdições está a World Intellectual Property Organization (WIPO/WO), uma entidade internacional de direito intelectual. Constatase, com isso, que há uma grande dispersão no interesse patentário ao redor do globo.

² Classificam-se os inventores e investidores *outliers* da pesquisa como os sujeitos que possuíam um número ínfimo de 1 a 3 publicações de patentes por cada planilha de dados prospectada.

4.2 O Cenário Mercadológico 4.0

Reconhecer quais entidades e empresas causam o maior impacto no campo da Economia Circular permite localizar os alvos de investimentos com o maior potencial de sucesso dado que são aqueles que já possuem maior experiência com o estudo e desenvolvimento do assunto. Nesse sentido, segue um gráfico que apresenta os principais líderes patentários em Economia Circular.

Figura 6. Frequência dos resultados tanto de somente economia circular como desta e as tecnologias habilitadoras por banco patentário



Fonte: Espacenet, Google Patents, The Lens (2021)

É explícito que a plataforma *Espacenet* gerou uma menor quantidade de patentes por investidor. Segundo ela, aqueles que mais investem em Economia Circular são entidades provenientes da China, algo curioso já que dentre os principais investidores retornados pelas outras plataformas, nenhum tem a China como sede; ou um sinal de como a indústria chinesa está evoluindo e procurando alternativas econômicas mais sustentáveis. Contudo, não pode ser ignorado que, comparado aos outros, esses não são os que mais se destacam no ramo. No gráfico da Figura 6 a quantidade de patentes provenientes do *Espacenet* é 36, o que compõe aproximadamente 10,65% do total representado.

Focando apenas nos 5 maiores investidores, conclui-se que há uma grande participação de instituições acadêmicas estadunidenses, e também de universidades em geral, algo reforçado pelo fato das Universidade de Beijing e Universidade de Tecnologia de Zhongyuan estarem presentes nesse gráfico. Essa grande presença reitera que universidades são valiosas fontes de inovação, já que uma vez estabelecidos os benefícios da introdução do sistema da Economia Circular, é inegável que investir em educação superior trará benefícios para este campo e, por consequência, para a sociedade. No gráfico da imagem 6, as patentes que têm como investidor uma instituição acadêmica são 94, compondo aproximadamente 27, 81% do total representado, sendo essas a Universidade de Tecnologia de Pequim, a Universidade de Tecnologia de Zhongyuan, o Instituto de Tecnologia de Massachusetts, e a Universidade da Califórnia.

Sobre os líderes patentários que mais se destacam, temos *BASF SE*, *Goodyear Tire & Rubber*, *AT&T*, *Markforged* e *CPG Technologies*. Curiosamente, aquele que em tese possui o maior número de propriedades intelectuais protegidas em Economia Circular, a *CPG Technologies*, apresentou poucos resultados ao ser feita uma pesquisa para saber sobre o modelo de negócio ou os produtos da empresa; assim, decidiu-se deixar de lado a análise dessa companhia devido à falta de dados e a pouca confiabilidade daqueles que foram obtidos. Quanto às outras empresas, a *BASF SE* se destaca lidar com produtos químicos, e sendo uma das principais características da Economia Circular o reaproveitamento e a redução de rejeitos, demonstra-se como sendo um grande benefício o interesse da companhia nesse assunto, já que rejeitos químicos podem ser extremamente perigosos ao meio ambiente. *AT&T*, *Goodyear* e *Markforged* são empresas com foco em manufatura; a *AT&T* é uma empresa que fornece serviços de telecomunicações e internet, *Goodyear* produz derivados da borracha com pneus como destaque e a *Markforged* uma empresa que fornece serviços de impressão 3D sob demanda e online. A *Markforged* é o caso mais interessante pois impressão 3D é uma das

principais bases da indústria 4.0, corroborando com a existência de uma relação mais íntima entre a nova revolução industrial e a Economia Circular.

O Brasil ser uma nação tecnologicamente dependente certamente reduz o interesse de investidores no país e a injeção de capital em geral, todavia, isso não significa que ele está alheio a isso. Alguns dos principais líderes patentários no campo da Economia Circular estão presentes no Brasil; a Tabela 2 mostra o número de patentes desses investidores no Brasil.

Tabela 2. Os principais investidores relacionados à Economia Circular que possuem patentes no Brasil.

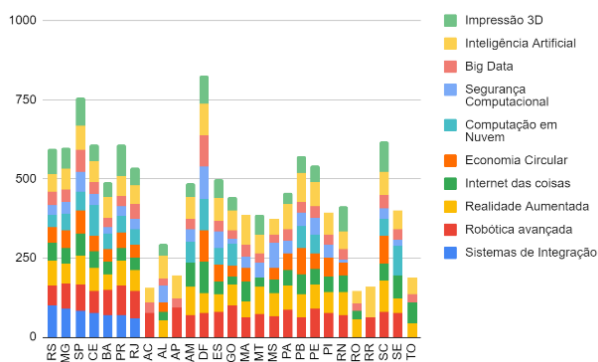
Players	Patentes no Brasil
Basf SE	3569
Goodyear Tire & Rubber	2450
AT&T	56

Fonte: INPI (2021)

A *BASF* ser a principal companhia provavelmente se dá pelo fato de ela produzir diversos produtos químicos que são utilizados na agricultura, e sendo o Brasil um dos maiores produtores de grãos do mundo, é justificado o grande número de pesquisas realizadas por essa empresa no país.

Como mostra a Figura 7, no Brasil, o interesse pelas tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 mostra-se bastante disseminado territorialmente, abrangendo todas as regiões. Entretanto, algumas particularidades podem ser observadas, como um maior destaque para a robótica, a realidade aumentada e a inteligência artificial, comportamento que se ramifica ao dividir os estados por conjuntos maiores. O Norte e Nordeste têm uma maior propensão pela inteligência artificial, enquanto o Sul tem maior procura por impressão 3D e realidade aumentada. O Sudeste e o Centro-Oeste compartilham um alto índice de pesquisas sobre robótica e realidade aumentada. Ademais, uma informação discrepante é referente a sistemas integrados, estes apresentam dados apenas nos estados RS, MG, SP, CE, BA, PR e RJ.

Figura 7. Comparação de interesses da economia circular e as bases da Indústria 4.0 nos estados brasileiros



Fonte: Google Trends (2021)

Diante dos dados das prospecções, notam-se resultados que preservam a tese não de tão somente da presença do objeto de estudo no raio de alcance das criações provenientes da Quarta Revolução Industrial, mas também da sua relevância devido a um crescimento exponencial das patentes na linha temporal, da considerável participação de *players*, da frequência de publicações por autor e da notória concentração de interesses atrelados às temáticas tecnológicas vinculadas à economia circular presente não somente nos estados brasileiros, como no mundo. Nesse raciocínio, não é despautério supor que exista uma correlação entre a economia circular e as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, haja vista que tal complementaridade sugere que as inovações sustentáveis correlatas com tais tecnologias causam tanto a propulsão da corrente de transformações tecnológicas provocadas por esse fenômeno ímpar do século XXI, como fazem juz ao caráter ambiental presente nos princípios do desenvolvimento sustentável.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisar os novos processos produtivos e demais tecnologias vigentes no século XXI é se deparar com verdadeiros potenciais de inovações tecnológicas cujas motivações são resumidas em romper as barreiras situadas entre o mundo físico, virtual e biológico. Denominam-se essas transformações como os efeitos causados pela Quarta Revolução Industrial, os quais potencializam soluções de problemas considerados górdios do cenário mundial devido à motivação dos inventores pelas tecnologias habilitadoras.

Tendo em vista a amplificação da capacidade produtiva ocasionada pela Indústria 4.0, o sistema econômico atual, fundamentado em uma política linear de *extração-produção-consumo-descarte*, torna-se insustentável, exigindo cada vez mais recursos e produzindo mais resíduos. Nessa problemática, o conceito de economia circular apresenta-se como uma imensa oportunidade de mudança para os padrões de fabricação e consumo, potencializando as práticas sustentáveis no setor industrial. Dessa forma, a combinação entre o sistema circular e as tecnologias habilitadoras da Quarta Revolução Industrial consagraria um vínculo balanceado entre consumo, manufatura e meio ambiente, destacando a reutilização de resíduos como matéria-prima para criação de novos produtos.

A associação entre Economia Circular e as tecnologias habilitadoras da Quarta Revolução Industrial se torna mais clara com o considerável investimento de múltiplas empresas que trabalham com elas. Nesse ínterim, o mapeamento mercadológico conduzido evidencia que o fato de companhias já consolidadas no mercado estarem realizando pesquisas relacionadas ao assunto adiciona ainda mais peso no prospecto da adoção desse sistema por firmas que, por hipótese, trabalharão cada vez mais com as tecnologias habilitadoras da Quarta Revolução Industrial se a tendência seguir. Nesse contexto, o mapeamento tecnológico e a prospecção de interesses revelou um comportamento participativo do Brasil em relação às temáticas discutidas neste labor, haja vista sua primeira colocação no *ranking* de jurisdições com o maior número de patentes, o que sugere o interesse ímpar da nação pelo modelo da economia circular e, necessariamente, uma perspectiva de potencializar uma difusão de modelos de negócios que visam o desenvolvimento sustentável, os quais têm como fundamento as bases da Indústria 4.0, que implica uma coexistência do objeto de estudo com elas.

Logo, convém afirmar que a importância de relacionar o objetivo deste trabalho com o potencial da economia circular frente às inovações promovidas pela Indústria 4.0, é torná-lo um verdadeiro arauto para possíveis mentes inovadoras que podem fornecer o aumento da capacidade competitiva das empresas em complemento com a difusão da índole sustentável da economia circular, haja vista a importância de uma mudança de comportamentos em relação ao consumismo e descarte desmedidos. Como sugestão para trabalhos futuros, destacam-se a verificação quanto a eficiência de tais tecnologias no potencial produtivo das indústrias e a análise quantitativa da diminuição do desperdício de matéria prima.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, A. M. S., *et al.* **Métodos de Prospecção Tecnológica, Inteligência Competitiva e Foresight**: principais conceitos e técnicas. Série Prospecção Tecnológica, Salvador, 1, p 19 - 108, 2018.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2021. Soja. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>. Acesso em: 8 de mar. 2021.

FERNANDES, Jorge H. C. **5G e seus aspectos revolucionários**. A quarta revolução industrial: inovações, desafios e oportunidades. Cadernos Adenauer XXI. p. 111-122. Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer, 2020

FOUNDATION, Ellen Macarthur. **What is the circular economy?** Disponível em <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>. Acesso em: 06 março 2021.

LEITÃO, Alexandra. **Economia circular**: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI.: circular economy: a new management philosophy for the XXI st century. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**, Lisboa, p. 149-171. 2 set. 2015.

MCGINTY, David. **5 Opportunities of a Circular Economy**. 2021. Disponível em: <https://www.wri.org/blog/2021/02/5-opportunities-circular-economy>. Acesso em: 06 mar. 2021.

SCHWAB, Klaus. **The Fourth Industrial Revolution**. World Economic Forum, 2016. ISBN-10 1944835016.

SWIFT, Rebecca. **Sustainability is Not Going Away This Time**. CreativeInsights, 2020. Disponível em: <https://creativeinsights.gettyimages.com/en/trends/sustainability/sustainability-is-not-going-away-this-time>. Acesso em: 14 de mar. de 2021.

VIVEK, Kumar. **What Industry 4.0 Means for the Global Economy**. IndustryWired, 2019. Disponível em: <https://industrywired.com/what-industry-4-0-means-for-the-global-economy>. Acesso em: 14 de mar. 2021.

WOLTERS, Claire. **Toxic waste, explained**. National Geographic, 2019. Disponível em: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/toxic-waste>. Acesso em: 8 de mar. de 2021.

YOUMATTER. **Sustainability – What Is It? Definition, Principles and Examples**. Disponível em: <https://youmatter.world/en/definition/definitions-sustainability-definition-examples-principles>. Acesso: 09 de março de 2021.