

O Uso de Big Data e Análise de Dados no Estudo das Alterações Climáticas

The Usage of Big Data and Data Analytics in the Study of Climate Change

Liliana Simões

Instituto Politécnico de
Coimbra, Coimbra
Business School, ISCAC
Coimbra, Portugal
iscac15287@alumni.iscac.pt

Luís Ladeiro

Instituto Politécnico de
Coimbra, Coimbra
Business School, ISCAC
Coimbra, Portugal
iscac14182@alumni.iscac.pt

Jorge Bernardino

Instituto Politécnico de
Coimbra, Instituto de
Investigação Aplicada,
Coimbra, Portugal
bernardino@ipc.pt

Isabel Pedrosa

Instituto Politécnico de
Coimbra, Coimbra
Business School, ISCAC,
Coimbra ISTAR-IUL,
Lisboa, Portugal
ipedrosa@iscac.pt

Resumo — Num mundo cada vez mais ligado ao digital, onde a possibilidade de gerar e analisar grandes quantidades de informação é cada vez mais valiosa para a sociedade, são todos os dias descobertas novas oportunidades e estratégias no estudo de temas que envolvem o tratamento de grandes volumes de dados. Em plena era em que *Big Data* e consequentes análises de dados são utilizadas efetivamente em diferentes tópicos, como se têm comportado estes perante aquele que é um dos maiores desafios que os seres humanos enfrentam, as alterações climáticas. Esta revisão de literatura permite demonstrar como *Big Data* e análise de dados têm interagido com o tema das alterações climáticas e assim relatar o uso destas através de exemplos da sua aplicação na investigação de questões climáticas. Pretende-se demonstrar que as alterações climáticas, um tema muito estudado, foi também afetado pela introdução de *Big Data* e que através desta aplicação foi possível obter um melhor conhecimento acerca deste tema que se verifica importante para a preparação e adaptação da sociedade.

Palavras-Chave – *Big Data; Alterações Climáticas; Análise de Dados.*

Abstract — In a world more and more connected with digital where the possibility of generating and analyzing big quantities of data is becoming increasingly valuable for society, every day there are new findings on opportunities and strategies in studies that cover a great treatment of data. In the era where *Big Data* and consequential data analysis are utilized effectively in a variety of topics, how have these behaved towards that which is one of the biggest challenges that human beings face: climate change. This literature review shows how *Big Data* and data analysis have interacted with the subject-matter and relate the use of these by referring to examples of how it has been implemented in the investigation of climate issues, aiming to reveal how climate change, a subject that has been exhaustively studied, has also been affected with the introduction of *Big Data* and that with *Big Data* it was possible to obtain better knowledge about the subject which is extremely important for society's preparation and adjustment.

Keywords – *Big Data; Climate Change; Data Analytics.*

I. INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas foi possível verificar que *Big Data* e análise de dados têm vindo a despertar cada vez mais interesse, assim como a necessidade destas tem vindo a emergir em diversos pontos tecnológicos que são centro de atenções nos dias de hoje, pelo que se tem verificado um aumento crescente de estudos nos mais variados temas [1].

O estudo das alterações climáticas é um tópico já muito discutido e tem sido tema de estudo desde há muitos anos. Nas últimas décadas, temos verificado um aumento exponencial (e, possivelmente, irreversível) de mudanças no nosso planeta devido às alterações climáticas. Atendendo à complexidade de estudo desses fenómenos no nosso planeta, existem inúmeras oportunidades de aplicação do *Big Data* ao estudo das alterações climáticas [2]. Nos dias de hoje torna-se possível, através de diversos meios, recolher e armazenar grandes volumes de dados. Esses dados, quando analisados, vão permitir obter um conhecimento mais extenso acerca do tema e, desta forma, desenvolvem respostas que possibilitam uma adaptação às novas realidades existentes, devido às complexas alterações climáticas, e podem formular estratégias que tornem possível uma adaptação a estes acontecimentos [3].

O objetivo deste trabalho é a realização de uma revisão da literatura existente que detalhe o uso de *Big Data* e análise de dados no estudo das alterações climáticas, destacando alguns dos temas estudados, oportunidades e desafios gerados.

O artigo encontra-se organizado da seguinte forma. Na secção II iremos apresentar o método de pesquisa utilizado para a realização do estudo. Na secção III faremos uma breve abordagem aos temas de *Big Data*, Análise de Dados e Alterações Climáticas. Na secção IV iremos apresentar os resultados obtidos na nossa pesquisa. Na secção V introduzimos a discussão do tema e por fim na secção VI apresentamos as principais conclusões deste estudo.

II. MÉTODO DE PESQUISA

Para esta revisão foi feita, numa fase inicial, uma pesquisa através de portais de acesso a publicações científicas que abordam o tema do uso de *Big Data* e Análise de Dados no contexto de alterações climáticas. Para tal, foram, em primeiro lugar, investigados os portais referentes à B-ON (Biblioteca do Conhecimento online) e o Google Scholar (Google Académico) a plataforma de pesquisa de artigos da Google. Esta pesquisa foi focada em artigos publicados entre 2015 e 2020 e relacionados com os temas acima mencionados. A razão pela qual se optou por este intervalo temporal foi a de se centrar a revisão da literatura nos artigos mais recentes que abordam o tema da aplicação de *Big Data* ao estudo das alterações climáticas. Para tal, foram introduzidas palavras-chave “*Big Data Climate Change*”, “*Data Analytics e Climate Change*”. Toda a pesquisa necessária para esta revisão foi realizada utilizando a língua inglesa, visto ser através desta que podemos encontrar uma maior variedade de artigos sobre diversos temas. Devido ao facto de a pesquisa através dos termos anteriormente indicados não ter permitido atingir um número de artigos considerado relevante, abrimos a pesquisa a artigos noutras bases de dados, nomeadamente, a IEEE (*Xplore Digital Library*) e a DBLP (*Computer Science Bibliography*). Esta pesquisa permitiu-nos obter artigos relacionados com o tema de modo a concluir a revisão, com artigos que relacionam o tema em estudo com as matérias já existentes de *Big Data* e análise de dados, assim como outros nos quais é relatado o valor associado a *Big Data* e a forma como pode ter impacto em áreas relacionadas com as alterações climáticas.

III. ENQUADRAMENTO

De modo a ser realizado um estudo mais completo do tema é necessário que, em primeiro lugar, se proceda a um enquadramento dos temas discutidos nesta revisão de literatura.

Para tal devemos introduzir, em primeiro lugar, os temas a serem discutidos nesta revisão. Começando por *Big Data* que, embora possa apresentar diversas definições, é, habitualmente, descrito através dos 5 V: Variedade, Volume, Veracidade, Velocidade e Valor. Assim, *Big Data* implica o uso de uma grande quantidade de dados, cujo acesso exige que seja rápido, lidando com diferentes formatos de dados, recolhidos a partir de diversas fontes, necessariamente fidedignas e, acima de tudo, que traz valor para a organização [4].

Data Analytics (ou análise de dados) corresponde ao processo de análise que permite descobrir padrões escondidos, correlações desconhecidas, tendências, preferências de clientes e outras informações importantes e relevantes para diferentes negócios, representando, assim, uma ferramenta extremamente útil quando utilizada para tomada de decisão [5].

Por fim, o estudo das alterações climáticas, considerado um dos maiores desafios do século vinte e um. O impacto das alterações climáticas no planeta tem sido estudado durante várias décadas, mas os estragos causados por estas, verificados atualmente, têm aumentado a uma escala e efeitos possivelmente irreversíveis. Tal tem levado à procura de novas formas de conter estes efeitos, tendo se verificado, nos últimos anos, o interesse de incluir *Big Data* e *Big Data Analytics* no estudo das alterações climáticas [2].

IV. RESULTADOS

De modo a dar início à revisão da literatura foi efetuada uma pesquisa relativa a artigos relacionados com o tema. Procedeu-se à leitura do resumo dos artigos de modo a determinar se deviam integrar a revisão. O foco desta pesquisa foi a procura de artigos que relataram experiências ou aplicações práticas de *Big Data* e análise de dados de modo a garantir um melhor entendimento do efeito das alterações climáticas a diferentes níveis nomeadamente: económico, saúde, na prevenção de desastres e na previsão do tempo. Foram excluídos os artigos que não estavam disponíveis ou dos quais apenas foi possível consultar o resumo. Após terem sido escolhidos os artigos que relatam estas aplicações, foi realizada a sua leitura na íntegra de modo a verificar que não só se encontravam dentro dos temas, mas também, continham informação fundamental sobre a forma como *Big Data* e análise de dados ajudaram no estudo do tema. Na Figura 1 é possível consultar a proposta de *framework* de classificação de estudos em *Big Data* e alterações climáticas proposta por Hassani, Huang e Silva [4], nomeadamente quanto à aplicação (5 áreas: eficiência energética & inteligência, *smart farming*, agricultura, silvicultura, planeamento urbano sustentável e infraestrutura, desastres naturais, avaliação de doenças e outros tópicos de suporte) e criação de valor relativamente a Observação e Monitorização, Compreensão, Previsão e otimização.

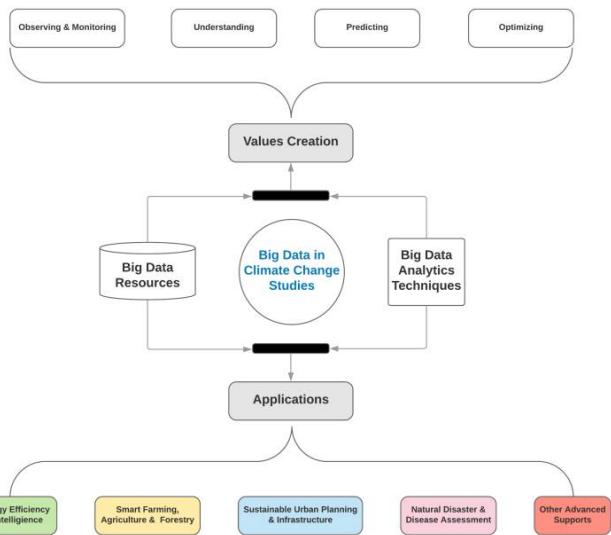


Figura 1: Framework of *Big Data* in climate change studies [4]

Esta leitura revelou que todos os artigos que compreendem esta revisão pressupunham uma partilha do conhecimento sobre *Big Data* e análise de dados, indicando o potencial para criação de valor e a importância desta para um melhor entendimento das alterações climáticas. Alguns dos artigos revelaram ter sido desenvolvidos com a ideia de explorar outros temas associados à pesquisa já realizada, através da partilha de possíveis aplicações em situações similares às já descritas. Através da Tabela 1 podemos destacar os artigos, autores e áreas focadas nos artigos que integraram esta revisão da literatura.

De forma a garantir uma maior coerência no que toca à partilha dos resultados observados através desta revisão da literatura, decidimos dividir os temas a abordar em três

categorias. Essas categorias são: (a) O valor que *Big Data* traz para o estudo das alterações climáticas; (b) As aplicações de *Big Data* e Análise de Dados ao estudo de alterações climáticas; (c) Oportunidades e desafios no estudo das alterações climáticas.

Tabela 1 – Lista de artigos analisados

Título	Data	Autor	Tema
<i>Big data driven smart energy management: From big data to big insights</i>	2016	Zhou, Fu & Yang	Energy Management
<i>Big Data in Weather forecasting: Applications and Challenges</i>	2017	Himanshi Jain, Raksha Jain	Weather Forecasting
<i>Predictive Analytics for Climate Change Detection and Disease Diagnosis</i>	2019	V. Nandhini, M.S Geetha Devasena	Health
<i>Big Data in Climate Change Research: Opportunities and Challenges</i>	2020	Prateek Mangal, Anupama Rajesh & Richa Misra	Climate Science
<i>Spatial cumulative sum algorithm with Big Data analytics for climate change detection</i>	2017	Gunasekaran Manogaran, Daphne Lopez	IT
<i>Earth observation Big Data for Climate Change research</i>	2015	Hua-Dong Guo, Li Zhang & Lan-Wei Zhu	Climate Science
<i>Big data for Big Problems – Climate Change, Water Availability and Food Safety</i>	2015	Walter Armbruster, Margaret Macdonell	Environment & Climate Science
<i>Big data and Climate Change</i>	2019	Hossein Hassani, Xu Huang & Emmanuel Silva	Climate Change

A. O valor que o *Big Data* traz para o estudo das alterações climáticas.

Sendo o estudo das alterações climáticas um tema que permite a possibilidade de estudar grandes volumes de dados, gerados em curtos intervalos de tempo e cujos resultados necessitam de estar disponíveis de forma atempada, é necessário que possuam as ferramentas e técnicas necessárias para tal.

Segundo Hassani, Huang e Silva [4], o valor que o *Big Data* produz para o estudo das alterações climáticas pode ser traduzido através de cinco pontos: Observação, Monitorização, Compreensão, Previsão e Otimização. Segundo os mesmos autores, uma das maiores vantagens do uso de *Big Data* é a possibilidade de revelar novas realidades sobre a grande quantidade de dados disponíveis. Esses dados contêm, muitas vezes, respostas não evidentes a problemas. Para que seja possível entender estes dados, os seus padrões, efeitos e a forma como definem o sistema climático é necessário que se proceda à observação e monitorização desta informação, de forma rigorosa para, assim, garantir um melhor entendimento acerca das alterações causadas pelo aquecimento global. No que toca aos restantes três pontos a compreensão, previsão e otimização, a natureza do tema do clima cria a necessidade de aplicação destes pontos devido ao seu grau de complexidade, dimensão e incerteza.

Para que seja possível uma melhor compreensão deste tema, têm sido estabelecidas ao longo do tempo entidades como a Global Climate Observing System (GCOS), National Center for Atmospheric Research (NCAR), entre outras que se dedicam, exclusivamente, ao estudo das alterações climáticas. Os dados criados e partilhados por estas entidades assim como a forma como aplicam *Big Data* e o papel que desempenham na previsão e compreensão dos mesmos tem revelado ser fundamental nas diferentes áreas ligadas à ciência do clima,

permitindo a otimização de processos garantindo assim uma maximização da utilidade e eficiência.

B. As Aplicações de *Big Data* e Análise de Dados ao estudo de alterações climáticas

Segundo as informações presentes na Figura 1, as aplicações de *Big Data* no estudo das alterações climáticas encontram-se centradas em artigos relacionados com: eficiência energética e inteligência, *smart farming*, agricultura, silvicultura, planeamento urbano sustentável e infraestrutura, desastres naturais, avaliação de doenças e outros tópicos de suporte. A pesquisa de artigos realizada no âmbito deste estudo confirma essa classificação.

No caso do estudo do uso de *Big Data* como previsão do tempo, Himanshi e Raksha Jain [6] descrevem no seu artigo a utilidade que *Big Data* e análises de dados têm quando aplicadas à previsão do tempo, como através da análise de grandes quantidades de dados se torna possível antecipar problemas causados pelo estado do tempo antes de estes ocorrerem. As autoras do artigo exploram como várias indústrias, tais como a indústria agrícola, turismo, construção, desportos, gestão de desastres e energia podem beneficiar da previsão do tempo e o papel que *Big Data* e *Big Data Analytics* têm nessa previsão. Segundo as autoras do estudo citado, estes são uma peça fundamental para que seja possível analisar grandes volumes de dados gerados. Também é destacado no artigo a forma como vários modelos que usam *Big Data* para as suas previsões têm aumentado a precisão das previsões efetuadas tornando, assim, a sociedade mais sensível a estas previsões, aumentando o número de pessoas que dão uso a estas informações no seu dia a dia.

Nandhine e Devasena [7] apresentam a forma como a aplicação desenvolvida pelos autores e aplicada ao estudo das alterações climáticas permite obter grandes quantidades de dados que auxiliam no processo de análise de mudanças e doenças sazonais permitindo, assim, melhorar a saúde pública. Os autores refletem sobre as vantagens que *Big Data* tem garantido para a saúde da sociedade e como pode ajudar no estudo das alterações climáticas, apresentando a forma de realização da previsão através de técnicas de deteção de padrões utilizando análise de dados, onde o processo é iniciado através da agregação de grandes quantidades de dados relacionados com o tempo, representando o ponto de partida para efetuar a análise de dados utilizando um algoritmo que permite detetar alterações significativas no clima.

Manogaran e Lopez [8] apresentam uma perspetiva mais prática do estudo do tema. No artigo é referida a importância que *Big Data* tem para o estudo de grandes volumes de dados estruturados e não estruturados, dados esses que tornam complexo o uso de técnicas tradicionais de processamento de dados, pelo que é proposto, no estudo dos autores, um algoritmo desenvolvido para cálculo de diferentes parâmetros do clima como temperatura máxima, mínima, precipitação, vento, humidade e outras a serem utilizados na monitorização das mudanças do clima.

Guo, Zhang & Zhu [9] descrevem o potencial do uso de *Big Data* e análise de dados no desenvolvimento e melhoria da geração e tratamento dos dados criados pelas tecnologias de

observação já existentes, a qual tem sido aplicada de forma a garantir uma melhor visão sobre parâmetros biológicos, físicos e químicos. Segundo os autores, de modo a ser possível combater os problemas associados às alterações climáticas, o estudo das alterações climáticas necessita não só de grandes quantidades de dados, partindo de fontes variadas através de análise em tempo real, mas também de informação acerca das relações entre *Big Data* e observação terrestre. Os mesmos autores debatam-se também sobre a descrição da forma como dados recolhidos pelos satélites contribuem para o estudo das alterações climáticas a diferentes níveis: atmosférico, oceânico e terrestre.

Os autores referem que todos os dados gerados têm valor associado, porém, de modo a conseguirem impulsionar o estudo das alterações climáticas, esses dados devem ser analisados através de modelos capazes de colmatar, usando grande volume dados, algo que, segundo os autores, os modelos de análise existentes não conseguem ainda fazer de forma eficiente.

Armbruster e McDonnell [10] descrevem o efeito que as alterações climáticas têm na agricultura e em *supply chain* neste domínio. De forma a conseguir atender à crescente procura de produtos agrícolas e conciliar produção de produtos em grande quantidade e diversidade e, em simultâneo, ter em conta os impactos das alterações climáticas, torna-se necessário adotar uma estratégia de *climate-smart-agriculture*. Com a crescente aplicação de *Big Data*, a sua análise torna-se possível, segundo os autores, permitindo atingir um nível de produtividade mais elevado, quando comparado com técnicas tradicionais, através da realização de agricultura de precisão e do estudo de soluções para avaliação do impacto da variação do clima e do efeito das secas. Através do uso de *Big Data* torna-se possível monitorizar os solos regionais e nacionais de modo a adaptar as práticas de produção alimentar.

Zhou, Fu e Yang [11] descrevem a forma como dados climáticos como o ângulo do sol, velocidade do vento e temperatura, têm um papel importante no suporte à gestão energética e como esses dados contribuem para a criação de um sistema de previsão da criação de energia renovável e o papel que o *Big Data* tem na identificação de falhas no sistema e na previsão de consumos energéticos dos utilizadores. Segundo os autores, os dados provenientes do estudo do clima fazem parte das formas como *Big Data* está a afetar a energia, sendo que os autores acreditam que os dados climáticos irão fazer parte da próxima geração de plataformas de serviços de poupança de energia e aplicações, como hoje já é possível observar em relação aos mapas e a dados de localização geográfica que são já a plataforma básica de muitos serviços.

C. Oportunidades e desafios no estudo das alterações climáticas

Mangal, Rajesh & Misra [12] identificam as oportunidades e desafios que *Big Data* cria no estudo das alterações climáticas. Quanto às oportunidades, tendo em conta a natureza e o facto de as alterações climáticas serem um dos temas mais importantes dos nossos tempos, cujos efeitos são visíveis em qualquer lugar e atendendo ao impacto que tem nas nossas vidas, as pesquisas fomentadas pelos dados existentes podem provar soluções ou formas de aliviar os efeitos verificados. Segundo os autores, algumas oportunidades que *Big Data*

apresenta como razões para a sua adoção no estudo das alterações climáticas são: o facto de ser inevitável e abundante quanto aos dados, devido ao facto de todos os aparelhos digitais criarem uma pegada digital o que torna possível a criação e acesso a múltiplas fontes de dados a um custo mais reduzido do que as fontes tradicionais de dados. A possibilidade de serem guardados todos os valores em tempo real ou com intervalos desejados, permite também obter informações mais exatas. O facto de os dados serem acessíveis em tempo real, por qualquer pessoa que possua acesso via telemóvel ou computador, também é um ponto positivo. Adicionalmente, o facto de permitir juntar informação de diferentes fontes, que permite obter dados mais precisos, úteis e consistentes comprados com os que provêm de uma única fonte de dados. Por fim, temos a própria análise de dados gerados que deve ser colocada como o ponto fulcral no que respeita à tomada de decisão.

cerca dos desafios, estes são divididos em 3 categorias: desafios de dados, desafios de métodos e desafios tecnológicos. O primeiro desafio passa pelos processos de aquisição de dados necessários a qualquer investigação científica. Antes de iniciar o estudo propriamente dito, é necessário proceder à agregação, localização e exclusão de dados e limpeza dos dados para certificar que não estamos a utilizar dados incorretos, desatualizados, incoerentes ou incompletos. A natureza dos dados climáticos, pelo facto de estarem constantemente a mudar, define as variáveis climáticas como voláteis, pelo que o algoritmo utilizado tem de ser constantemente atualizado ou alterado por programas capazes de fornecer dados mais exatos. Para se entender os dados gerados nas alterações, importa conhecer os processos de como estes têm origem, o que, no contexto das alterações climáticas, é bastante complexo. O facto de o estudo de *Big Data* relacionado com o clima ser relativamente recente - embora já exista evidência, desde há décadas, do estudo das alterações climáticas – e o facto de os avanços tecnológicos em *Big Data* serem ainda relativamente recentes, pode provocar dificuldades na análise. Atendendo à complexidade subjacente ao tema e à necessidade de ter em conta muitas variáveis, é ainda importante ter em consideração que a representação dos dados de forma quantitativa exige a atribuição de um valor e, todavia, a muitos fenómenos climáticos não podem ser atribuídos valores numéricos, tornando, assim, difícil a sua representação.

Quanto aos métodos a considerar, no estudo das alterações climáticas o desafio consiste em criar modelos de previsão resistentes e precisos. No entanto, atualmente o foco está mais centrado em entender os dados – já que a natureza espaciotemporal dos dados climáticos cria dificuldades - do que propriamente na realização da previsão. O estudo do clima tem uma natureza exploratória. Devido à complexa natureza dos dados provenientes dos sistemas pode-se estar perante situações em que os mesmos fenómenos climáticos são causados por razões diferentes, assim como duas pessoas podem utilizar o mesmo conjunto de dados e chegar a diferentes conclusões. Existe também uma certa dificuldade no que toca à avaliação dos métodos utilizados, sendo, por isso, desafiante conseguir traduzir se o modelo utilizado teve ou não impacto na otimização dos dados gerados.

Por fim, os desafios tecnológicos: embora o conhecimento nesta área aumente a cada dia, a natureza do tema e a sua

complexidade dão origem à necessidade de transferir, diversificar, garantir a segurança e acesso aos dados, muitas vezes na ordem dos milhões de registo, pelo que os investigadores nesta área trabalham continuamente em formas de desenvolver sensores, melhorar a imagem dos satélites, desenvolver formas mais rápidas e eficazes de guardar os dados, melhores programas e equipamentos e sistemas inteligentes que suportem a investigação do tema.

V. DISCUSSÃO

Através da análise dos artigos podemos verificar que *Big Data* representa uma vantagem para o estudo das alterações climáticas, tendo em conta a natureza de ambas as áreas. No entanto, o facto de, no contexto de alterações climáticas, a produção de dados ser constante, com diferentes variações e o facto de ser um tema que está em constante evolução, significa que *Big Data* não deve ser visto como uma vantagem para o estudo, mas sim como uma necessidade. As características das alterações dão origem à produção de diversas análises de dados que, devido à sua complexidade e dimensão, podem levar a explicações diversas para justificação dos mesmos acontecimentos. Torna-se, assim, fundamental o desenvolvimento de mais estudos aprofundando o tema e apoiando o desenvolvimento de novas formas de obtenção de dados e tratamento dos mesmos [13][14].

Através da nossa pesquisa e tal como apresentamos nos resultados, alguns dos artigos publicados acerca do tema seguem aplicações que se podem classificar em áreas de aplicações conhecidas de *Big Data* e análise de dados nas alterações climáticas. Podemos observar o resumo destas aplicações na Figura 2, onde se usou o *framework* proposto por Hassani, Huang e Silva [4].

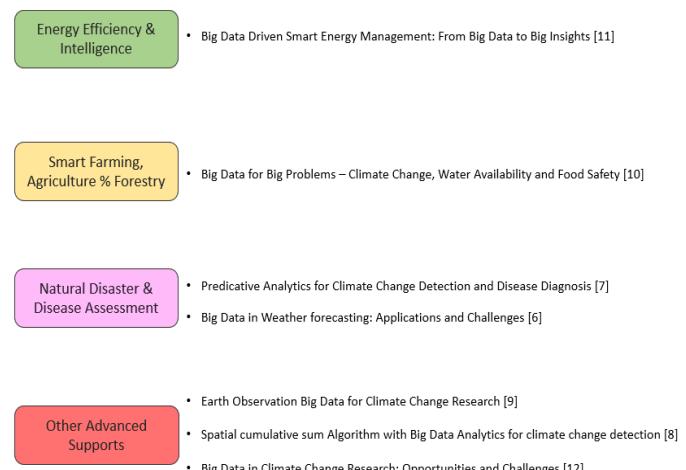


Figura 2: Distribuição dos artigos utilizados na revisão utilizando a estrutura de Hassani, Huang e Silva (2019) [4]

Tendo em conta este conhecimento acreditamos que deveria ser explorado o tema através de uma perspetiva económica. Algo que foi verificado na pesquisa para a produção desta revisão foi a baixa produção científica quando a artigos analisados que fizessem referência ao potencial (ou à sua falta) que *Big Data* pode trazer a nível económico para o estudo das alterações climáticas [15].

Durante a pesquisa dos artigos selecionados destaca-se que a exploração das oportunidades que *Big Data* consegue trazer ao estudo das alterações climáticas ainda se encontra num estado muito embrionário, já que se verifica que muitas ideias de oportunidade não se traduzem, de facto, em oportunidades que *Big Data* consegue trazer ao estudo do tema, mas sim oportunidades que *Big Data* consegue entregar em geral.

VI. CONCLUSÃO

O tema central desta revisão foi verificar como o uso de *Big Data* e análise de dados tem sido utilizado face a um dos maiores desafios do século que vivemos: as alterações climáticas. Para tal, realizou-se uma revisão da literatura. Na pesquisa de artigos que refletem esses aspetos, destaca-se a forma como *Big Data* e análise de dados interagem com o tema das alterações climáticas, tendo sido também possível agregar e apresentar o valor que *Big Data* consegue trazer ao estudo de temas com uma complexidade elevada, como é o caso das alterações climáticas, assim como apresentar oportunidades e desafios associados a este tema.

Com a pesquisa e reflexão realizadas torna-se fundamental indicar que o uso e pesquisa científica de *Big Data* ainda é muito recente quando comparada com o estudo das alterações climáticas em geral, embora já seja fácil de entender a aplicabilidade a outras áreas, como as redes sociais ou a Internet das Coisas, IoT, no que toca à compreensão dos dados, criação de análises e estratégias. Devido às características voláteis associadas ao clima existe sempre um grau de complexidade aumentado face a outros temas. O estudo dos artigos analisados permite concluir que é necessário ter em conta essa volatilidade e que o *Big Data* aplicado às alterações climáticas pode ser relevante na geração de *insights* valiosos que sirvam de suporte a várias áreas como a saúde, energia, agricultura, entre outras.

Isto implica a necessidade de serem realizados mais estudos, em variados tópicos onde o foco está no uso de *Big Data* e análise de grandes quantidades de dados ligados às alterações climáticas de modo a ser possível avaliar outras realidades para além das já referidas afetadas pelas alterações, como, por exemplo, os efeitos económicos associados a um negócio que seja afetado pelas alterações climáticas, como o turismo, a *triple-bottom-line*, ou seja, foco no ambiente e sustentabilidade em vez de exclusivamente no lucro, e como o uso de *Big Data* pode ser útil para o entendimento destas alterações, permitindo a estes negócios formularem estratégias de modo a mitigar possíveis perdas decorrentes das alterações climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. Yaqoob *et al.*, “*Big Data*: From beginning to future,” *Int. J. Inf. Manage.*, vol. 36, no. 6, pp. 1231–1247, 2016, doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2016.07.009.
- [2] J. D. Ford *et al.*, “*Big Data* has big potential for applications to climate change adaptation,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 113, no. 39, pp. 10729–10732, 2016, doi: 10.1073/pnas.1614023113.
- [3] B. Knüsel *et al.*, “Applying *Big Data* beyond small problems in climate research,” *Nat. Clim. Chang.*, vol. 9, no. 3, pp. 196–202, 2019, doi: 10.1038/s41558-019-0404-1.
- [4] H. Hassani, X. Huang, and A. E. Silva, “*Big Data* and

- climate change," *Big Data Cogn. Comput.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–17, 2019, doi: 10.3390/bdcc3010012.
- [5] C. W. Tsai, C. F. Lai, H. C. Chao, and A. V. Vasilakos, "Big Data analytics: a survey," *J. Big Data*, vol. 2, no. 1, pp. 1–32, 2015, doi: 10.1186/s40537-015-0030-3.
- [6] H. Jain and R. Jain, "Big Data in weather forecasting: Applications and challenges," *Proc. 2017 Int. Conf. Big Data Anal. Comput. Intell. ICBDACI 2017*, pp. 138–142, 2017, doi: 10.1109/ICBDACI.2017.8070824.
- [7] V. Nandhini and M. S. G. Devasena, "Predictive Analytics for Climate Change Detection and Disease Diagnosis," *2019 5th Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Syst.*, pp. 1152–1155, 2019, doi: 10.1109/ICACCS.2019.8728537.
- [8] G. Manogaran and D. Lopez, "Spatial cumulative sum algorithm with Big Data analytics for climate change detection," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 65, pp. 207–221, 2018, doi: 10.1016/j.compeleceng.2017.04.006.
- [9] H. D. Guo, L. Zhang, and L. W. Zhu, "Earth observation Big Data for climate change research," *Adv. Clim. Chang. Res.*, vol. 6, no. 2, pp. 108–117, 2015, doi: 10.1016/j.accre.2015.09.007.
- [10] W. Ambruster and M. Macdonell, "Big Data for Big Problems - Climate Change, Water Availability, and Food Safety," *29th Int. Conf. Informatics Environ. Prot. (EnviroInfo 2015) Third*, no. Third International Conference on ICT for Sustainability (ICT4S 2015), pp. 190–196, 2015.
- [11] K. Zhou, C. Fu, and S. Yang, "Big Data driven smart energy management: From Big Data to big insights," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 56, no. 2016, pp. 215–225, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.11.050.
- [12] P. Mangal, A. Rajesh, and D. R. Misra, "Big Data in Climate Change Research: opportunities and Challenges," *Proc. Int. Conf. Intell. Eng. Manag. ICIEM 2020*, pp. 321–326, 2020, doi: 10.1109/ICIEM48762.2020.9160174.
- [13] Vieira, J., Bernardino, J., Madeira, H. , "Efficient compression of text attributes of data warehouse dimensions", 7th Intl Conference on Data Warehousing and Knowledge Discovery - DaWak, Copenhagen, Denmark, 2005.
- [14] R. J. Santos and J. Bernardino. Optimizing Data Warehouse Loading Procedures for Enabling Useful-Time Data Warehousing. In Proceedings of the 2009 Int'l Database Engineering and Applications Symposium, IDEAS'09, pp. 292–299, 2009.
- [15] B. M. Roman Pais Seles, A. B. Lopes de Sousa Jabbour, C. J. C. Jabbour, P. de Camargo Fiorini, Y. Mohd-Yusoff, and A. M. Tavares Thomé, "Business opportunities and challenges as the two sides of the climate change: Corporate responses and potential implications for Big Data management towards a low carbon society," *J. Clean. Prod.*, vol. 189, pp. 763–774, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.04.113.