

TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO APLICADA À BIOCOMBUSTÍVEIS

MULTICRITERIA DECISION MAKING APPLIED TO BIOFUELS

 André Brum Missaggia¹

 Nattan Roberto Caetano²

 Deoclécio Junior Cardoso da Silva³

 Marcos Augusto Nogueira Ruppelt⁴

Resumo

Este artigo tem como objetivo analisar a aplicação de métodos multicritério em processos do setor de biocombustíveis. Foram identificados os segmentos nos biocombustíveis em que os métodos multicritérios têm sido aplicados, as palavras-chave mais utilizadas, os autores mais citados, o número de trabalhos publicados por ano, quantidade de periódicos citados, fator de impacto dos periódicos e detalhamento dos trabalhos mais relevantes por meio do uso de técnica bibliométrica. Entre as conclusões, verificou-se que o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é o método multicritério mais empregado, sendo utilizado de forma isolada e/ou combinada com outros métodos. Averiguou-se, também, que o segmento de aplicação mais proeminente é na avaliação de sistemas de cultivo de algas para a produção de biocombustível.

Palavras-chave: Análise de decisão multicritério. Bibliometria. Biocombustíveis.

Abstract

This article aims to analyze the application of multicriteria methods in processes of the biofuels sector. Biofuel tests were used in which multicriteria methods were used, such as the most used keywords, the most cited authors, the number of papers published per year, the number of journals cited, the impact factor of the journals and the relevant works by using the bibliometric technique. Among the conclusions, it was found that the Analytic Hierarchy Process (AHP) is the most used multicriteria method, being used alone and / or in combination with other methods. It also found that the most prominent application segment is the evaluation of algae cultivation systems for biofuel production.

Keywords: Multicriteria Decision Analysis. Bibliometrics. Biofuels.

¹Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
andremissaggia@hotmail.com

²Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
nattancaetano@gmail.com

³Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
deocleciojunior2009@hotmail.com

⁴Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
marcos.ruppelt@gmail.com

Introdução

Devido a frequentes eventos imprevisíveis que acontecem na sociedade e o conhecimento limitado da natureza, o mundo tornou-se complexo para tomada de decisões. Inúmeros eventos de perspectiva social, sustentável, econômica e tecnológica atingem as organizações, acontecendo muitas vezes de forma simultânea.

Neste contexto, diante aos recursos escassos e a necessidade de produzir energia alternativa visando a substituição da energia fóssil em um futuro próximo, fazem com que as organizações privadas e as políticas públicas em escala nacional e internacional apresentem forte atenção para a produção de biocombustíveis (Luz, Kaminski, Kozak & Ndiaye, 2009; Ulhoa, 2014; Azevedo & Lima, 2016). Na indústria de aviação, no contexto atual, adota-se o sistema de mistura controlada de combustíveis, tendo como agência regulamentadora a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) (SPG & MME, 2016). No Brasil, devido ao crescimento da oferta e os avanços tecnológicos dos combustíveis alternativos levou o país a ter destaque internacional (Boeing, Embraer & Fapesp, 2013; Garbin, 2018).

Diferentes estudos têm demonstrado a importância dos biocombustíveis na aviação, contribuindo para essa temática relevante (Cataluña *et al.*, 2017; Del Monte, Vizcaíno, Dufour & Martos, 2019; Mueller, Hoard, Smith, Sanders & Gaffney, 2019; Kaoistinen, Upham & Bögel, 2019; Millinger, Meisel & Thrän, 2019).

Estudos como Vásquez, Martínez, Castillo e Silva (2019) utilizaram uma nova abordagem para aprimorar a sustentabilidade na produção de biocombustíveis na aviação demonstrando que o óleo de palma apresentou as maiores economias de pegada de carbono.

Nesse sentido, a produção de biocombustíveis demanda cada vez mais de novas tecnologias e processos eficientes bem como, redução nos custos de produção e distribuição. Dessa forma, observa-se a complexidade na resolução desses problemas, porém, como apoio para a resolução, é possível utilizar métodos multicritérios, que tem o objetivo de auxiliar o gestor no processo decisório de maiores complexidades. Os métodos permitem, por exemplo, criar hierarquias entre as variáveis e estabelecer as relações, a fim de identificar os pontos críticos do sistema proposto (Leite & Freitas, 2012).

Os métodos multicritérios, nas últimas décadas, têm sido aplicados em inúmeras situações na sociedade, entre essas, no setor de biocombustível em geral bem como no setor de aviação (Tsita & Pilavachi 2012; Tan, Tan & Promentilla, 2014; Hoa, Promentilla, Yu & Aviso, 2016; Ubando *et al.*, 2016; Zhang, Sovacool & Ren, 2017; Caetano, Venturini, Centeno, Lemmert & Kyprianidis, 2018).

Dessa forma, a proposta deste trabalho é realizar uma análise da produção científica que trata do desenvolvimento de sistemas de auxílio na decisão baseado em modelos multicritério na área de biocombustíveis, com a finalidade de contribuir com pesquisadores e gestores dessa área.

O artigo está organizado em seis tópicos. Após a introdução, o segundo tópico apresenta o panorama dos métodos multicritérios e método AHP; o terceiro salienta a aplicação no setor de biocombustíveis na aviação; quarto os procedimentos metodológicos; quinto a análise de resultados, por fim, os objetivos alcançados e as recomendações para pesquisas futuras.

Métodos de análise multicritério de processos e Método AHP

A pesquisa operacional é a área de origem dos métodos multicritérios, onde têm sido utilizados em inúmeras áreas do conhecimento para auxílio à tomada de decisão. (Pissinelli, 2016).

Na literatura, em publicações de língua inglesa, as metodologias recebem diferentes denominações: *auxílio multicritério à decisão* (AMD); *multicriteria decision making* (MCDM) ou *multicriteria decision aid* (MCDA). Embora, possuam diferentes nomenclaturas e guardem diferenças sob o aspecto matemático, essas metodologias são aplicadas para o mesmo fim: desenvolvimento de modelos para auxiliar a tomada de decisão (Andrade, Da Silva & Gonçalves, 2016).

Além disso, a modelagem de determinada questão por meio de método multicritério independente da metodologia utilizada foi compartilhado as seguintes etapas: (i) identificar dos tomadores de decisão; (ii) definir os critérios críticos no processo; (iii) definir as alternativas; (iv) avaliar as alternativas em relação aos critérios, (v) definir a importância relativa dos critérios (Gomes, González & Carignano, 2004).

Considerando a metodologia *auxílio multicritério à decisão* (AMD), existe na literatura uma diversidade de métodos, por exemplo, *Analytic Hierarchy Process* (AHP), criado por Thomas L. Saaty (1990); *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (MACBETH), criado por Bana, Costa e Vansnick (1995); *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), criado por Hwang, Lai e Liu (1993); *Família Elimination Et Choice Traidusaint la Réalité* (ELECTRE) (Roy, 1990); *Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations* (PROMETHEE) (Brans, 1982; Gomes & Lima, 1992), entre outros métodos (Gomes, González & Carignano, 2004). Além disso, deve-se considerar que na literatura há uma variação de nomenclatura nas publicações em língua inglesa. Por exemplo, AMD é também denominada de MCDA (*Multicriteria Decision Analysis*) ou MCDM (*Multicriteria Decision Making*).

As diferentes metodologias e nomenclaturas até podem confundir, porém todos são empregados para o mesmo objetivo: desenvolver modelos matemáticos para auxiliar o tomador de decisão baseado no uso de método multicritério.

Nesse contexto, o AHP é um método prático e útil que auxilia a tomada de decisão considerando múltiplos critérios (Costa, 2006; Ishizaka & Labib, 2011; Nunes, 2018). O método considera as possíveis incertezas presentes nos problemas por meio de uma mensuração de valor. Formulado e apresentado por Thomas Saaty na década de 70, o autor destaca que os principais elementos desse método são: julgamento, comparação par a par, escala e hierarquia (Saaty, 2004;

2008; 2013). Saaty (1991) destaca que o método trabalha parecido com o funcionamento da mente humana, ou seja, ao encontrar inúmeros elementos, a mente busca reuni-los em grupos comuns, criando diversos níveis conforme a complexidade do problema até chegar em um objetivo central (Wind & Saaty, 1980; Costa, 2006; Bhushan, 2007; Saaty, 2013; Ribeiro & Da Silva Alves, 2016).

A aplicação do método AHP consiste em estruturar hierarquicamente o problema, comparar os critérios e as alternativas par a par, obter vetores de prioridades, verificar a consistência dos resultados e por último selecionar a alternativa com maior prioridade geral. O AHP tem facilitado o processo de decisão diante de situações de incertezas e também quando há problemas complexos que necessitam de resolução. Pode-se afirmar que o método é reconhecido como uma importante ferramenta para solução de problemas aplicado em negócios, engenharia, saúde, serviços, produção e ciências. Além disso, houve publicações bem-sucedidas em avaliação de biocombustível (Pilavachi, Chatzipanagi & Spyropoulou, 2009; Carvalho, Gomes & Pereira, 2014; Billig & Tharaen, 2017).

Métodos de análise multicritério aplicados a biocombustíveis na aviação

O desenvolvimento do capitalismo é baseado em fontes de energia poluentes e cada vez mais caras. A primeira revolução industrial difundiu o carvão mineral. A segunda descobriu o petróleo e seus derivados. A partir desse evento, a utilização do petróleo começou a crescer, e hoje domina a fonte de matriz energética mundial (Azevedo & Lima, 2016). Entretanto, com o passar dos anos percebeu-se que o uso desenfreado dos recursos naturais, somado a uma baixa preocupação com a sustentabilidade, tornou-se uma péssima escolha para a manutenção do planeta.

Nesse sentido, as principais potências mundiais necessitavam de uma alternativa que viria de encontro a substituição a energia fóssil, encontrando no desenvolvimento de biocombustíveis o potencial necessário, somando a isso a garantia de continuação do desenvolvimento econômico com segurança energética (Icao, 2016).

No que tange aos biocombustíveis, pode-se dizer que se trata de uma fonte de energia limpa, que possui vantagens quando comparado ao combustível fóssil. Entretanto, a produção, distribuição, disponibilidade de matéria prima, parcerias, regulamentações, políticas públicas, custos e interesse as partes são em demasia complexas (Vilt, 2017).

Nesse contexto, o estudo desenvolvido por Chaves e Gomes (2014) demonstrou a utilização de um método multicritério de decisão para avaliar os biocombustíveis na matriz energética mundial, apresentando as principais matérias primas, suas características, qualidades e defeitos para selecionar a energia alternativa mais adequada ao contexto nacional brasileiro.

Somado a isso, a indústria de aviação e de transportes são responsáveis por grande parte das emissões de gases de efeito estufa, sendo o CO₂ o gás mais presente e considerado o agente do aquecimento global (Andrade & Mattei, 2011; Garbin, 2018). Considerando o uso no setor de aviação, atualmente a indústria de biocombustíveis adota o sistema de mistura controlada de combustíveis.

American Society for Testing and Materials (ASTM) é a agência que regulamenta a aceitação de misturas de biocombustíveis com o querosene de aviação (QAV-1). Os critérios de aceitação buscam garantir a qualidade do combustível, antes e depois da mistura, com o intuito de que não seja necessária nenhuma alteração nos motores das aeronaves e também que sejam atendidos os parâmetros de segurança (SPG & MME, 2016).

Os avanços com tecnologia dos combustíveis alternativos e o crescimento da oferta faz com que o Brasil ocupe uma posição destaque no cenário internacional (Boeing, Embraer & Fapesp, 2013; Garbin, 2018). Entretanto, o desafio é constante, com o aumento do tráfego aéreo em média de 5% ao ano, a tecnologia das aeronaves e as melhorias na eficiência do combustível estão sendo colocadas em teste (Vilt, 2017; Anac, 2018). Provavelmente, os biocombustíveis necessitaram de novos impulsos para conseguir acompanhar a expansão do setor de aviação e atender as demandas de redução dos gases de efeito estufa.

O estudo elaborado por Chen, Lihong, Ren e Jingzheng (2018) aplicou o modelo multicritérios ANP e lógica *Fuzzy* para medir a sustentabilidade dos combustíveis alternativos de aviação. Avaliando 4 biocombustíveis: refino de petróleo, *Fischer-Tropsch* baseado em gás natural, combustível à base de algas e combustível à base de soja.

Na perspectiva de Acar, Beskese e Temur (2018) o método *Fuzzy* AHP foi utilizado para avaliar um biocombustível a base de hidrogênio de acordo com seis diferentes sistemas de produção, atendendo cinco critérios distintos impostos pelas partes interessadas. Os autores destacaram a possibilidade do uso desse biocombustível na aviação.

Santos, Monteiro, Gomes, Souza Lima e Santos (2017) aplicaram o método multicritério MACBETH para ranquear as matérias primas que possuem o maior potencial para desenvolvimento de um biocombustível que possa ser utilizado na aviação comercial brasileira, considerando os critérios ambientais, econômicos e sociais. Ademais, Nwokoagbara, Olaleye e Wang (2015) utilizando metodologia multicritério MCDA buscou identificar a melhor linhagem para produção de microalgas destinadas para a produção de biocombustível.

Diante das publicações encontradas foi possível observar que os métodos multicritérios aplicados em biocombustíveis de aviação ainda são pouco difundidos no meio acadêmico. Assim, essa pesquisa também priorizou na análise bibliométrica métodos multicritérios aplicados no setor de aviação com o objetivo de englobar o maior número de informações.

Aplicação do AHP na tomada de decisão em biocombustíveis

Os modelos multicritérios possuem vasta aplicação em diferentes áreas de conhecimentos. Considerando a aplicação do modelo multicritério AHP em biocombustíveis ou sua combinação com outra abordagem, permite aos especialistas tomar decisões mais eficientes de um problema.

Mohseni, Pishvae e Sahebi (2016) avaliou por meio de um modelo multicritério AHP a melhor localização de uma usina para produção de biocombustíveis a base de algas, considerando a produção e a distribuição do combustível no Irã. Foram utilizados algoritmos meta heurísticos e modelo multicritério para atingir o resultado.

Benjamin, Tan e Razon (2015) elaboraram uma avaliação da produção de uma usina de bioenergia, considerando possíveis interrupções na produção. Por meio do modelo multicritério AHP os autores conseguiram medir a robustez do sistema em diferentes cenários.

Ubando *et al.* (2016) apresentam um modelo utilizando análise multicritério AHP para avaliação de quatro diferentes tipos de cultivo de microalgas para produção de biocombustível. Foram considerados como critérios: limite energético, emissão de dióxido de carbono e consume hídrico.

Também utilizando a metodologia AMD como base, Wheeler, Caballero, Ruiz-Femenia, Guillén-Gosálbez e Mele (2017) combinaram método multicritério AHP com programação não linear com o objetivo de simplificar os problemas de engenharia sustentável. O modelo aborda as capacidades de um projeto sustentável na cadeia de açúcar/etanol.

Metodologia

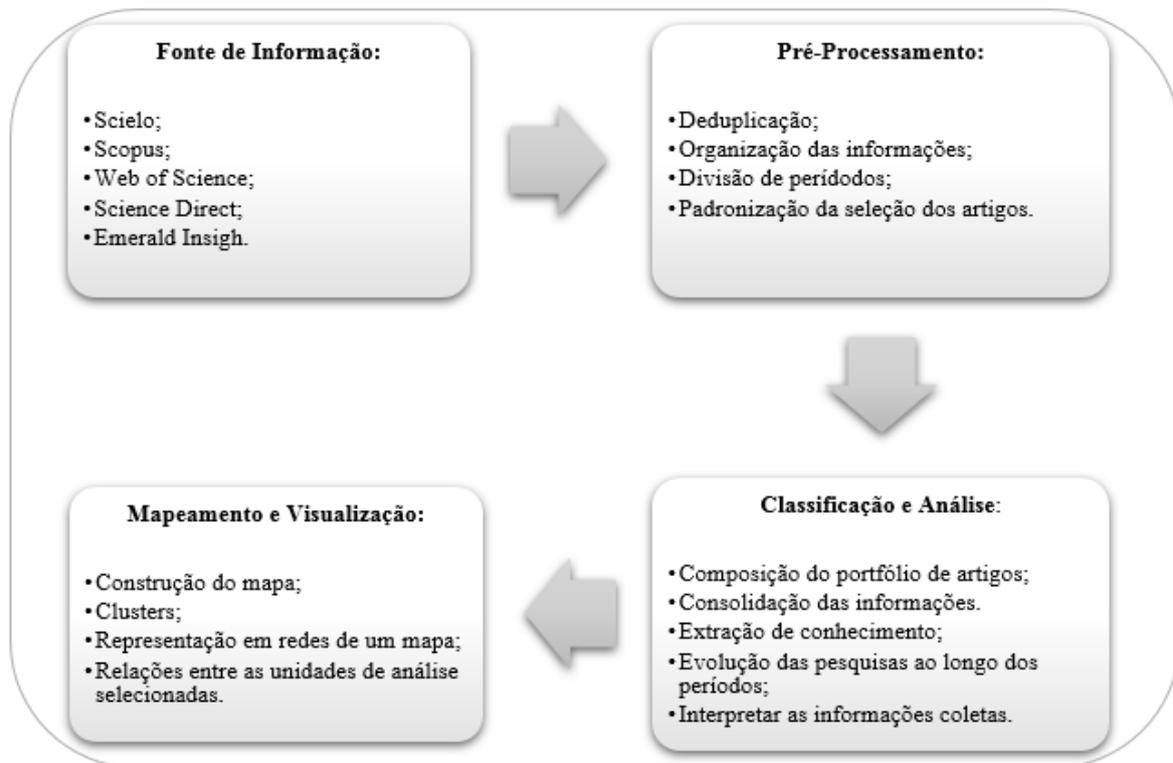
Este estudo se classifica como uma pesquisa exploratória, com objetivo principal a identificação e análise quantitativa da produção científica no que representa o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem o processo de tomada de decisão baseados em métodos multicritério AHP combinado ou não com outra ferramenta no campo de biocombustíveis. Além disso, o autor pretende analisar o desenvolvimento das pesquisas de biocombustíveis no campo da aviação.

As informações de amostra foram coletadas em 2018 e incluiu todos os trabalhos publicados até o momento. Além disso, delimitou-se cinco bases de publicações para buscar as informações, contatando com publicações em periódicos nacionais e internacionais. Convém citar que a construção desta análise bibliométrica foi baseada nas informações e orientações apresentadas pelos autores Ferenhof e Fernandes (2013). No próximo tópico é apresentado as instruções pra a elaboração desta análise bibliométrica.

Base de informações

Estabelecer um banco de informações é o primeiro passo na análise bibliométrica. A pesquisa foi realizada nas seguintes bases de publicações: *Springer*, *Scopus*, *Web of Science*, *Science Direct* e *Emerald Insigh*. O fluxo de trabalho necessário para realizar a análise das informações é apresentado na Figura 1.

Figura 1- Definição de protocolo de pesquisa



Fonte: Adaptado de Cobo, López-Herrera, Herrera-Viedma e Herrera (2012).

Para melhor compreensão do fluxo que a pesquisa adotou, a análise de ciclo de vida foi dividida em tópicos de acordo com a Figura 2. Assim, as próximas etapas são: fonte de informação; pré-processamento; classificação e análise; e por fim, mapeamento e visualização.

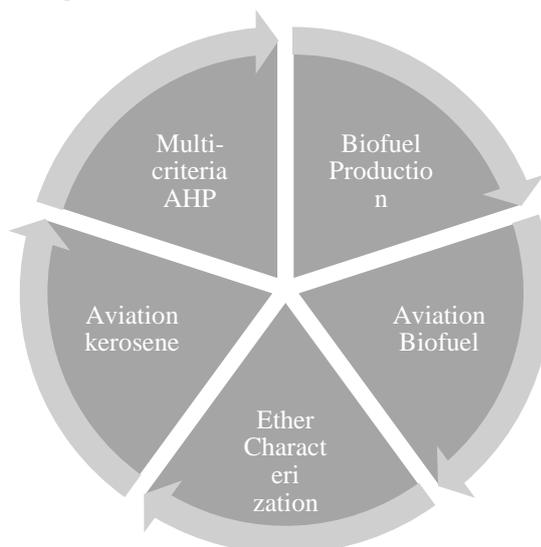
Fonte de informações

Inicialmente para realizar as buscas nas bases, utilizou-se a combinação de palavras-chave, de acordo com a Figura 3. Além disso, foram utilizados os seguintes critérios para delimitar a pesquisa:

- Foram buscadas as palavras-chaves independente do período de publicação nas bases definidas;
- As palavras-chave foram pesquisadas no “resumo” ou “abstract” de cada publicação;
- Foi utilizado o conectivo de adição “and” para combinar as palavras-chave;
- As palavras-chave foram pesquisadas no idioma inglês;
- O mesmo método de pesquisa foi adotado em todas as cinco bases examinadas;
- Foram computados todos os artigos encontrados no buscador de cada uma das cinco bases de pesquisa.

Logo abaixo, na Figura 2 são representadas as palavras-chave utilizadas nas pesquisas.

Figura 2 - Palavras-chaves da pesquisa



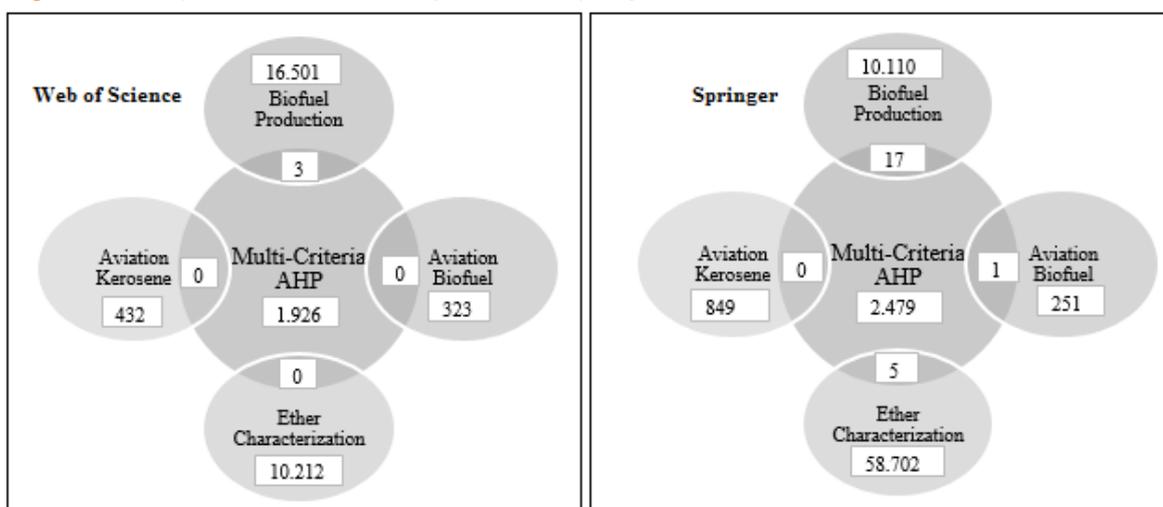
Fonte: Autores (2019).

As palavras chave escolhidas para essa análise bibliométrica foram definidas pelos seguintes motivos: Englobar o maior número de artigos que aplicaram o método AHP no campo de biocombustíveis geral e especificadamente para aviação. Além disso, observou-se que alguns biocombustíveis utilizam éter na sua formulação, assim, foi incorporado o termo “*ether characterization*” para que esses trabalhos estejam presentes na análise.

Resultados

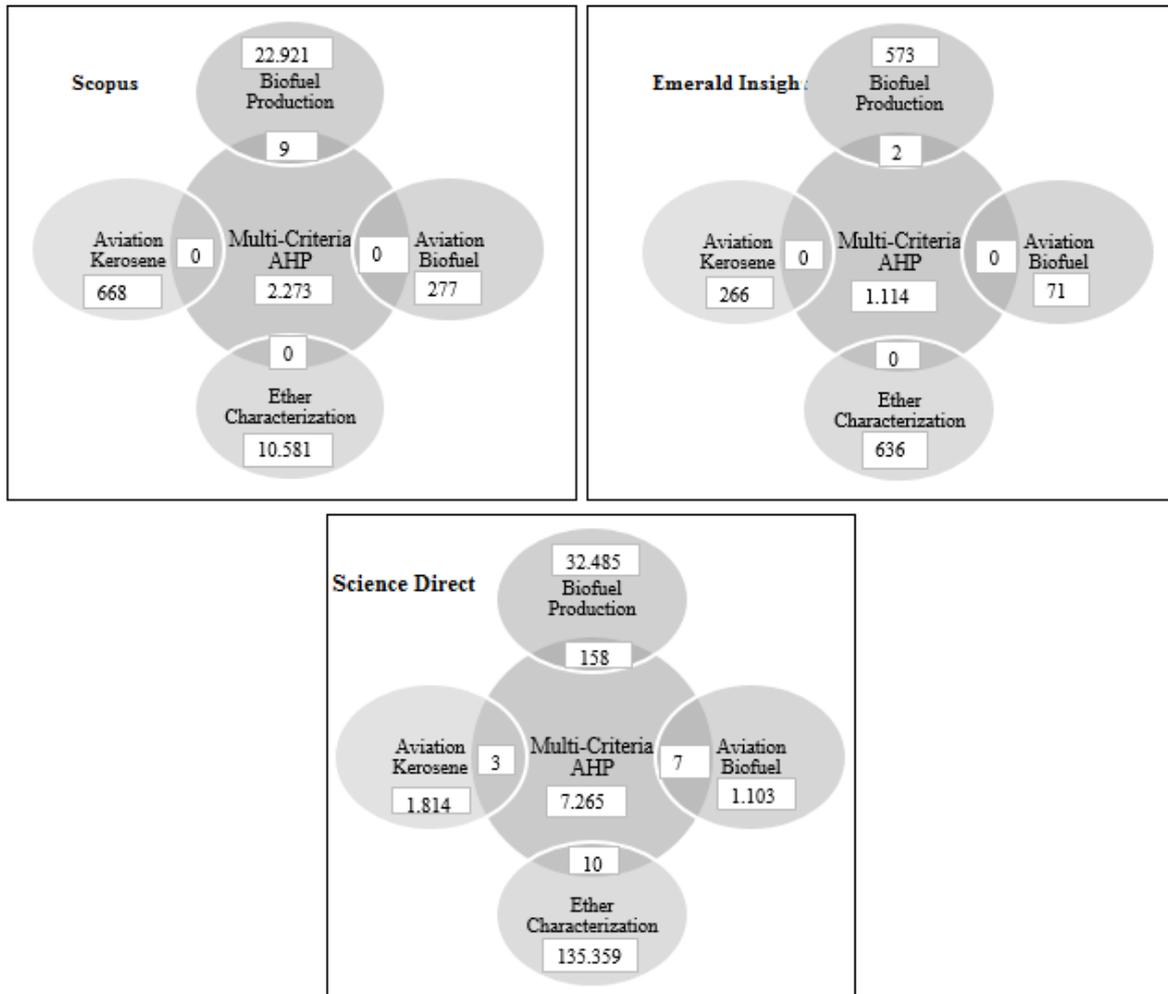
A Figura 3 e a Figura 4 representam o número de artigos encontrados nas cinco bases pesquisadas, obtido por meio da busca das palavras-chave e as relações de combinação, representado as fontes de informações.

Figura 3 - Pesquisa nas bases *Web of Science* e *Springer*



Fonte: Autores (2019).

Figura 4 - Bases de publicações: *Scopus*, *Emerald Insight* e *Science Direct*



Fonte: Autores (2019).

Diante dessas informações preliminares, o próximo passo é fazer o pré-processamento das informações que é apresentado no próximo tópico.

Pré-processamento

Ao analisar os artigos lendo seus resumos e as palavras-chaves, eliminou-se arquivos duplicados e também foram eliminados artigos que não estavam alinhados com o tema desta pesquisa. A base *Science Direct*, apresentou o maior número de publicações, quando se buscou isoladamente a palavra chave “*Multi-criteria AHP*” foi encontrado um total de 7.265 artigos. Salienta-se que a base *Science Direct*, quando comparada com as outras quatro bases pesquisadas, foi o local que apresentou uma maior quantidade de artigos publicados de acordo com as palavras chave definidas.

Considerando o resultado nas cinco bases pesquisadas, tem-se 215 artigos ao se combinar as palavras-chaves “*Multi-criteria AHP*” com “*Biofuel Production*”, “*Aviation Kerosene*,” “*Ether Characterization*” e “*Aviation Biofuel*”. Desse total, a maior parte, ou seja, 158 artigos estão na base

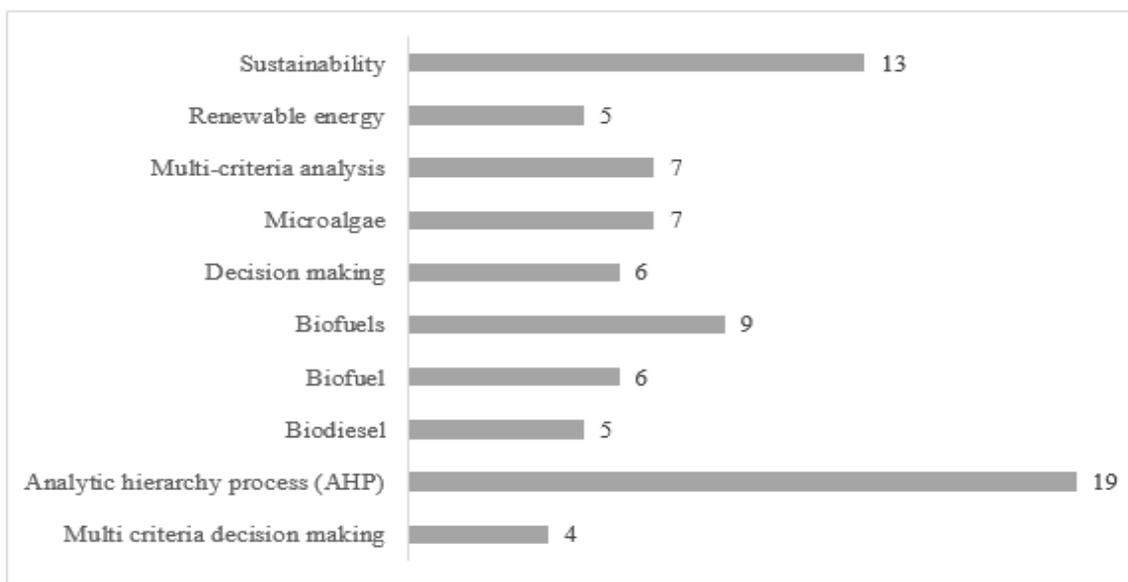
Science Direct, resultado encontrado ao combinar os termos “Multi-criteria AHP” e “Biofuel Production”.

A partir dos 215 artigos encontrados nas cinco bases pesquisadas, o próximo passo foi fazer a classificação e análise das informações.

Classificação e análise

Agora é apresentado a consolidação final dos artigos, ou seja, os artigos que estão mais próximos com a pesquisa. Classificou-se 73 artigos distribuídos nas cinco bases de publicações, esse número representa o portfólio final e o início das análises e interpretações. Localizou-se um total de 474 palavras chave distribuídas nos 73 artigos selecionados. Diante do elevado número de informações, sendo a maioria com apenas uma ocorrência de repetição, optou-se por destacar somente as palavras-chaves que se repetiram no mínimo 4 vezes. Assim, as palavras-chave mais citadas nos resumos dos artigos estão demonstradas na Figura 5.

Figura 5 – Palavras-chave mais citadas



Fonte: Autores (2019).

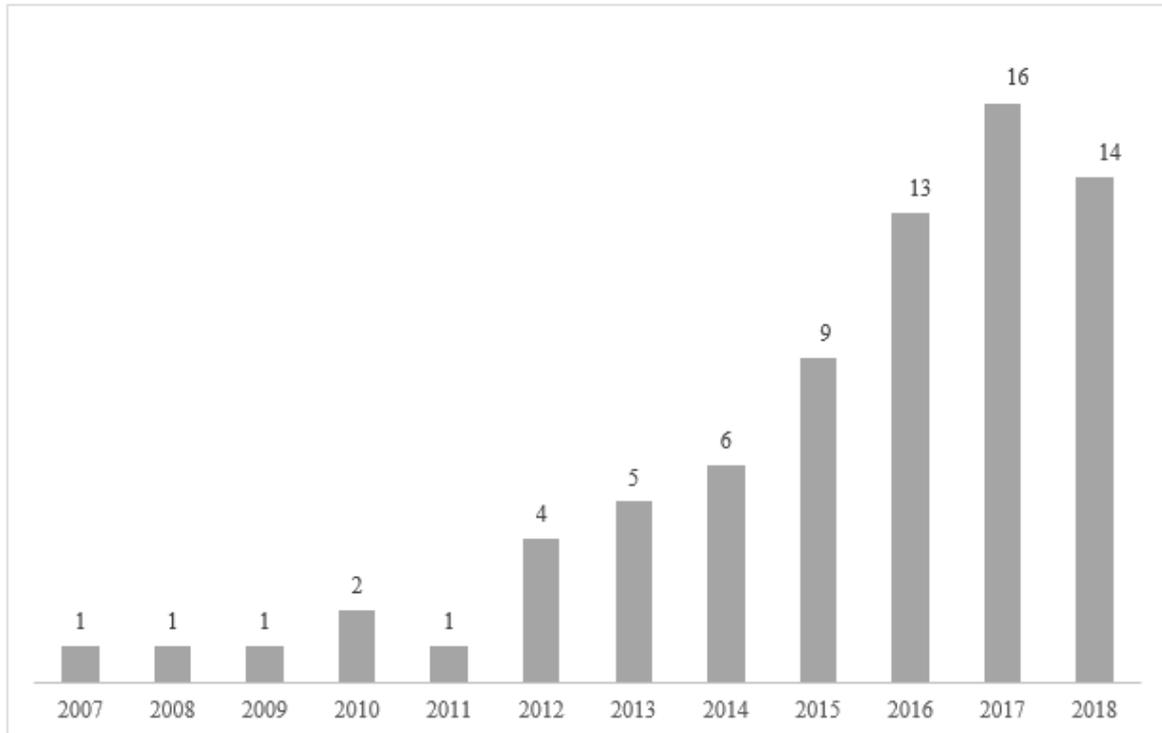
Observa-se que o termo “Analytic hierarchy process (AHP)” foi o mais influente como palavra-chave nos artigos, 19 ocorrências. Agora, ao analisar o termo “Multi-criteria” não necessariamente foi utilizado o AHP, pode-se, por exemplo, que foram utilizados outros modelos, por exemplo, ANP, PROMETHEE, entre outros.

A sustentabilidade também representou um número significativo de ocorrências com 13 repetições, isso representa a importância desse tema em benefício da saúde do planeta. O terceiro termo de significativa ocorrência é o “Biofuel” e “Biofuels” sendo possível mesclá-los para uma melhor compreensão, juntos representam uma ocorrência de 11 repetições, sendo considerado elementos de

fontes renováveis de energia. Portanto, vários artigos utilizaram os modelos multicritérios avaliando biocombustíveis e bioenergia como o objetivo de auxiliar na tomada de decisões.

Considerando o período de publicação, salienta-se que não foi definido um período específico, ou seja, foram buscadas as palavras-chaves nas cinco bases de pesquisa sem um limitador fixo de períodos que foram publicados. Na Figura 6, tem-se a demonstração da evolução dos períodos de publicações dos 73 artigos.

Figura 6 – Períodos das publicações

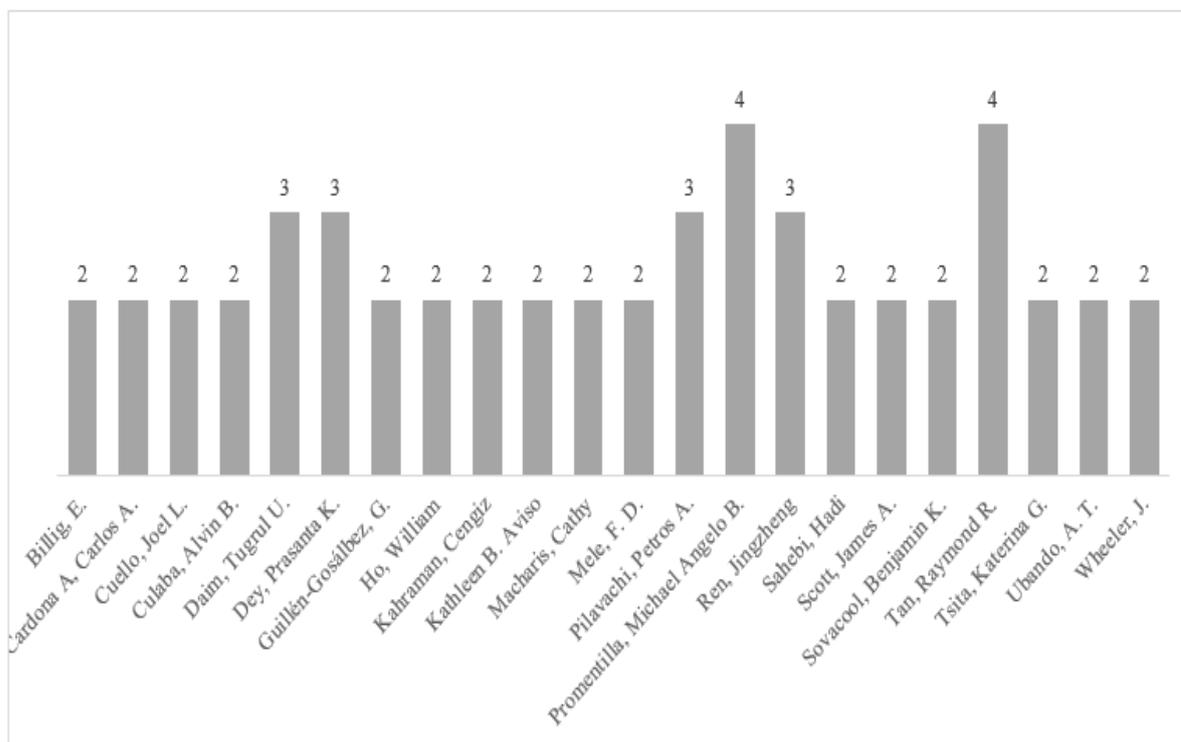


Fonte: Autores (2019).

Observa-se que do ano 2012 em diante, houve um acréscimo expressivo no número de publicações. Esse fenômeno, em parte, é representado pelo crescimento de pesquisas relacionadas com preocupação ambiental e geração de energia renovável.

Ao analisar estes 73 artigos, foram encontrados um total de 244 autores. Diante do elevado número de informações, optou-se por selecionar os autores que utilizaram modelos multicritérios e que foram citados no mínimo 2 vezes. Portanto, chegou-se a 22 autores que estão representados na Figura 7.

Figura 7 – Autores analisados



Fonte: Autores (2019).

Os autores mais citados, com 4 citações são: “Promentilla, Michael Angelo B.” e “Tan, Raymond R.”. Esses 2 autores utilizaram o AHP para a tomada de decisão com o objetivo de produção ou melhoramento de processos nas fontes de energia limpa e também em sustentabilidade dos compostos. Nos 5 artigos com a presença desses 2 autores, cabe ressaltar que a maior representação de pesquisas envolve o cultivo de algas para a geração de biocombustíveis. Um dos estudos em questão, por exemplo, estabeleceu os seguintes critérios: impacto ambiental, consumo de energia, viabilidade econômica, considerações técnicas e aceitabilidade social. Desses critérios elaborou-se diversos subcritérios com o objetivo de avaliar qual era o sistema mais eficiente para cultivo das algas como biocombustível.

Com 3 citações os autores são os seguintes: “Daim, Tugrul U.”, “Dey, Prasanta K.”, “Pilavachi, Petros A.” e “Ren, Jingzheng”. Desses autores foram encontrados 7 artigos, em todos eles utilizaram-se modelos multicritérios para a solução de um objetivo. Sendo 4 artigos somente com o AHP e os restantes o AHP foi combinado com outros modelos multicritérios, por exemplo, *Fuzzy-AHP* e *PROMETHEE*. Cabe salientar que 3 dos 7 artigos encontrados com esses autores, foi utilizado modelos multicritérios nas situações: medição de desempenho energético, segurança energética e seleção de melhores recursos energéticos.

Com o autor Scott, Ho e Dey (2012) foi encontrado 1 artigo que fornece a revisão de métodos multicritérios aplicados em sistemas de bioenergia. Com os autores Chen e Ren (2018) foi encontrado um artigo envolvendo biocombustível na aviação, por meio do modelo multicritério ANP e lógica *Fuzzy*, onde foi possível medir a sustentabilidade dos combustíveis alternativos de aviação. Ainda,

denota-se que foram avaliados 4 biocombustíveis: refino de petróleo, *Fischer-Tropsch* baseado em gás natural, combustível à base de algas e combustível à base de soja.

Já Santos, Monteiro, Gomes, Souza Lima e Santos (2017) aplicaram o método multicritério MACBETH para ranquear as matérias primas que possuem o maior potencial para desenvolvimento de um biocombustível que possa ser utilizado na aviação comercial brasileira, considerando os critérios ambientais, econômicos e sociais. Ademais, Nwokoagbara, Olaleye e Wang (2015) utilizando metodologia multicritério MCDA buscou identificar a melhor linhagem para produção de microalgas destinadas para a produção de biocombustível.

Acar, Beskese e Temur (2018) utilizaram método *Fuzzy AHP* para avaliar um biocombustível a base de hidrogênio de acordo com seis diferentes sistemas de produção, atendendo cinco critérios distintos impostos pelas partes interessadas. Os autores destacaram a possibilidade do uso desse biocombustível na aviação.

Com os resultados foi possível criar uma ordem de sustentabilidade desses combustíveis avaliados sendo do melhor para o pior, determinado com base na preferência de três grupos de partes interessadas.

No Quadro 1 estão os autores que mais impactaram nessa análise bibliométrica, com a utilização do modelo multicritério AHP combinado ou não com outros modelos multicritério para a tomada de decisão na produção de biocombustíveis.

Quadro 1 - Análise dos autores

Autor (es)	Objetivos
Billig e Tharaen (2017)	Avaliar os aspectos técnicos e econômicos dos conceitos emergentes no campo de tecnologia para a produção de metano renovável a partir da biomassa por meio do modelo multicritério AHP.
Cardona, Carlos e Aristizábal Gómez (2015)	Avaliação técnico-econômica e ambiental de uma biorrefinaria à base de bagaço de cana de açúcar e hastes de corte de café. Por meio do AHP foi avaliado diferentes níveis, rotas de conversão, distribuição de matéria-prima e tecnologias para produzir etanol, octano, nonano, furfural e hidroximetilfurfural (HMF).
Daim, Wang, Kocaoglu e Yang (2010)	Avaliou-se as fontes de energia (carvão, petróleo, gás natural, energia nuclear) e também alguns recursos energéticos renováveis como possíveis alternativas energéticas para a matriz da China por meio do uso de um modelo de decisão hierárquica (AHP).

Fonte: Autores (2019).

Desses três artigos foi possível observar como os autores utilizaram métodos multicritérios para tomada de decisão. No trabalho de Billig e Tharaen (2017) o objetivo era encontrar um novo substrato sustentável para substituir o gás natural (GN) na Europa. Os autores definiram os vários critérios bioquímicos, termoquímicos e políticos para a produção de metano renovável a partir da biomassa. Foi descoberto que a escolha do substrato é um fator crítico para comparação com outras tecnologias. Assim, os autores concluíram que a palha foi substrato que mais respeitou os critérios sendo adequado para produção de biometano e bio-SNG.

Os autores Cardona, Carlos, Aristizábal e Gómez (2015) avaliaram uma biorefinaria a base de cana de açúcar e hastes de café nos aspectos técnico-econômico. Os autores elaboraram cinco cenários com duas matérias primas utilizando método multicritério encontraram qual é a melhor alternativa para a configuração da biorefinaria. Os principais produtos eram etanol, octano e nonano e secundários furfural e HMF. A fábrica deveria produzir 5 toneladas/hora. Do ponto de vista econômico a produção de etanol, furfural e octanas foi o cenário mais rentável. Além disso, a conversão dessas matérias primas em etanol pode ser utilizada em combustíveis de aviação.

Já os autores Daim, Wang, Kocaoglu e Yang (2010) por meio de método multicritério buscam um substituto sustentável para a energia a base de carvão na China. Utilizando os critérios: disponibilidade, infraestrutura energética atual, preço, segurança, impactos ambientais e impactos sociais; e as alternativas: carvão, petróleo, gás natural, energia nuclear e energia renovável. A partir dos resultados os autores descobriram que o carvão ainda é muito abundante e valorizado pelo povo chinês, porém no quesito segurança e impacto ambiental é uma energia muito poluidora. A energia renovável foi apontada como a melhor escolha, entretanto pela realidade da infraestrutura do país o carvão limpo tem prioridade para o governo.

Quadro 2 - Análise dos autores

Autor (es)	Objetivos
Macharis, Baudry e Vallée (2018)	Comparação com os biocombustíveis de primeira e segunda geração, o biodiesel de microalgas pode contribuir para atender aos objetivos de sustentabilidade no setor de transporte na França?
Hoa, Promentilla e Aviso (2016)	Avaliar as implicações da implementação do programa obrigatório de mistura de bioetanol no Vietnã, usando mandioca e cana-de-açúcar como matéria-prima. Os cenários medem a vulnerabilidade dos setores econômicos considerando a possibilidade de desastres. A proposta aborda três métricas: incidência de tufões, inundações e infestação de pragas.
Mohseni, Pishvae e Sahebi (2016)	Planejar uma cadeia de fornecimento de biodiesel baseada em microalgas. A macro etapa realiza uma filtragem espacial usando <i>Geographic Information System</i> (GIS) e o modelo AHP é utilizado para identificar os locais candidatos mais adequados para estabelecer instalações de produção de biodiesel.

Fonte: Autores (2019).

Os autores Macharis, Baudry e Vallée (2018) investigaram se o biodiesel a base de microalgas pode ser competitivo em comparação com a primeira geração de biocombustíveis no setor portuário da França. Por meio de avaliação multicritério as partes interessadas foram consultadas para elaboração dos critérios. Colaborando com o método os autores utilizaram Monte Carlo para simulação de cenários até o ano de 2030. Concluiu-se que o biodiesel de microalgas pode colaborar com a sustentabilidade do setor de transportes França, além disso, uma nova oportunidade de mercado se desenvolve para atender essa demanda de energia limpa. Os autores sugerem que para estudos futuros o modelo incorpore mais critérios ambientais e se expanda para a União Europeia.

Já Hoa, Promentilla e Aviso (2016) propuseram um estudo multicritério que mede a vulnerabilidade do setor econômico considerando a possibilidade de um desastre natural na matriz energética do Vietnã. O método avalia o bioetanol produzido por meio da mandioca e cana de açúcar. Os autores consideraram a incidência de inundações, infestação de pragas e tufões como cenários do modelo. O setor que mais iria ser impactado com a incidência de desastres naturais foi o sucroalcooleiro, assim, as políticas públicas devem incluir a produção outras matérias primas como a mandioca para que em caso de desastres naturais possam utilizá-las para formar o bioetanol.

Mohseni, Pishvae e Sahebi (2016) apresenta um modelo para a melhor localização de uma usina para produção de biocombustíveis a base de algas considerando a produção e a distribuição do combustível no Irã. Foram utilizados algoritmos meta heurísticos e modelo multicritério para atingir o resultado. Os autores conseguiram várias coordenadas geográficas para diferentes critérios avaliados: custo, emissão, distância e demanda.

Quadro 3 - Análise dos autores

Autor (es)	Objetivos
Scott, Ho e Dey (2013)	Demonstrar o uso do método no processo integrado de qualidade de implantação de função e hierarquia analítica (QFD-AHP) para a inclusão de um amplo grupo de requisitos das partes interessadas no processo de seleção de fornecedores.
Benjamin, Razon e Tan (2015)	Um índice probabilístico de risco de multi-ruptura é desenvolvido para medir a mudança na produção líquida de um parque de bioenergia baseado em cenários de ruptura de plantas definidos. As probabilidades são estimadas usando o processo de hierarquia analítica (AHP).
Tan, Tan, Aviso, Promentilla e Sulaiman (2017)	Otimização do ciclo de vida para a síntese de sistemas de cultivo de microalgas, usando uma formulação de programa linear de múltiplos objetivos. O modelo levou em consideração três critérios ambientais principais na avaliação de diferentes alternativas de cultivo: energia, água (água direta e indireta) e pegadas de carbono.

Fonte: Autores (2019).

Scott, Ho e Dey (2013) utilizaram metodologia *Quality Function Deployment* (QFD) e método multicritério AHP para avaliar a seleção de fornecedores de bioenergia no Reino Unido. O estudo identificou os critérios mais importantes para um grupo de interessados, isso colaborou para melhor compreensão das necessidades dos compradores possibilitando personalizar sua oferta de produtos e/ou serviços.

No trabalho de Benjamin, Razon e Tan (2015) foi elaborado uma avaliação da produção de uma usina de bioenergia considerando possíveis interrupções na produção. Por meio de modelo multicritério os autores conseguiram medir a robustez do sistema em diferentes cenários. As informações apresentadas permitiram a reduzir a vulnerabilidade na produção da usina de bioenergia por meio do gerenciamento de risco.

Tan, Tan, Aviso, Promentilla e Sulaiman (2017) apresentam um modelo utilizando análise multicritério para avaliação de quatro diferentes tipos de cultivo de microalgas para produção de combustível. Foram considerados como critérios: limite energético, emissão de dióxido de carbono e consume hídrico. Os autores concluíram que o cultivo em lagoas é o melhor tipo de cultivo para robustez do sistema de produção considerando os critérios propostos.

Quadro 4 - Análise dos autores

Autor (es)	Objetivos
Tan, Sulaiman Tan, Aviso e Promentilla (2014)	Modelo de otimização do ciclo de vida para a produção de microalgas, considerando critérios para avaliar diferentes métodos de cultivo e fontes de carbono.
Tsita e Pilavachi (2012)	Avaliar os combustíveis alternativos para o setor de transporte rodoviário grego, usando o modelo (AHP). Sete alternativas diferentes de modo de combustível são consideradas neste trabalho: motor de combustão interna (ICE) e a combinação com petróleo e misturas de biocombustíveis de 1ª e 2ª geração, células de combustível, veículos híbridos, híbridos plug-in e veículos elétricos. A avaliação é realizada de acordo com os aspectos de custo e de política.
Tsita e Pilavachi (2013)	Avaliar a próxima geração de combustíveis derivados de biomassa para o setor de transportes, empregando o modelo (AHP). Oito alternativas diferentes de combustíveis são consideradas neste artigo: bio-hidrogênio, gás natural bio-sintético, bio-dimetilico éter, bio-metanol, diesel para melhoria térmica, bioetanol, biocombustível de algas e eletricidade a partir da incineração de biomassa.

Fonte: Autores (2019).

Tan, Sulaiman Tan, Aviso e Promentilla (2014) apresentaram um modelo de otimização do ciclo de vida para produção de microalgas considerando métodos de cultivo e matérias primas. Uma abordagem de hierarquia multicritério considerando os critérios: energia, água, solo e carbono. Os autores concluíram que o cultivo de microalgas em lagoas abertas é o melhor sistema considerando os critérios avaliados.

Tsita e Pilavachi (2012) avaliou energia alternativa para o setor de transporte rodoviário grego. Sete alternativas foram consideradas usando diferentes biocombustíveis de 1º e 2º geração e também energia elétrica. A avaliação dos modos alternativos de combustíveis considerou os aspectos de custo e política. Após dez cenários avaliados os autores concluíram que a mistura de biocombustíveis aliado com a eletricidade tem maiores potencias para dominar o setor de combustíveis no transporte grego.

Nesse trabalho Tsita e Pilavachi (2013) expandiu seu estudo anterior e incorporou ao modelo multicritério novos biocombustíveis e novos critérios. Oito biocombustíveis foram avaliados de acordo com os critérios: aspectos econômicos, técnicos, sociais e de políticas. Os autores concluíram que o bio-SNG e a eletricidade são as melhores soluções para o futuro. Embora ainda não seja muito claro quem vai dominar o setor de transportes, esses dois biocombustíveis combinados possuem grande potencial.

Quadro 5 - Análise dos autores

Autor (es)	Objetivos
Ubando <i>et al.</i> , (2016)	Uma abordagem multicritério baseada no processo de hierarquia analítica (AHP) é proposta para avaliar três sistemas alternativos de cultivo para produção sustentável de biocombustíveis de algas. Os principais critérios considerados para avaliar as alternativas com base em consulta a um painel de especialistas e da literatura são o impacto ambiental, o consumo de energia, a viabilidade econômica, a aceitabilidade social e a robustez do sistema.
Wheeler, Caballero, Ruiz-Femenia, Guillén-Gosálbez e Mele (2017)	Por meio da definição de uma função objetivo agregada calculada pelo algoritmo AHP é construído um modelo objetivo que fornece uma solução. O AHP foi combinado com uma formulação de programação não linear inteira mista (MINLP) que simplifica a aplicação e é particularmente adequada para lidar com muitos objetivos (como os que surgem em problemas de engenharia sustentável).

Fonte: Autores (2019).

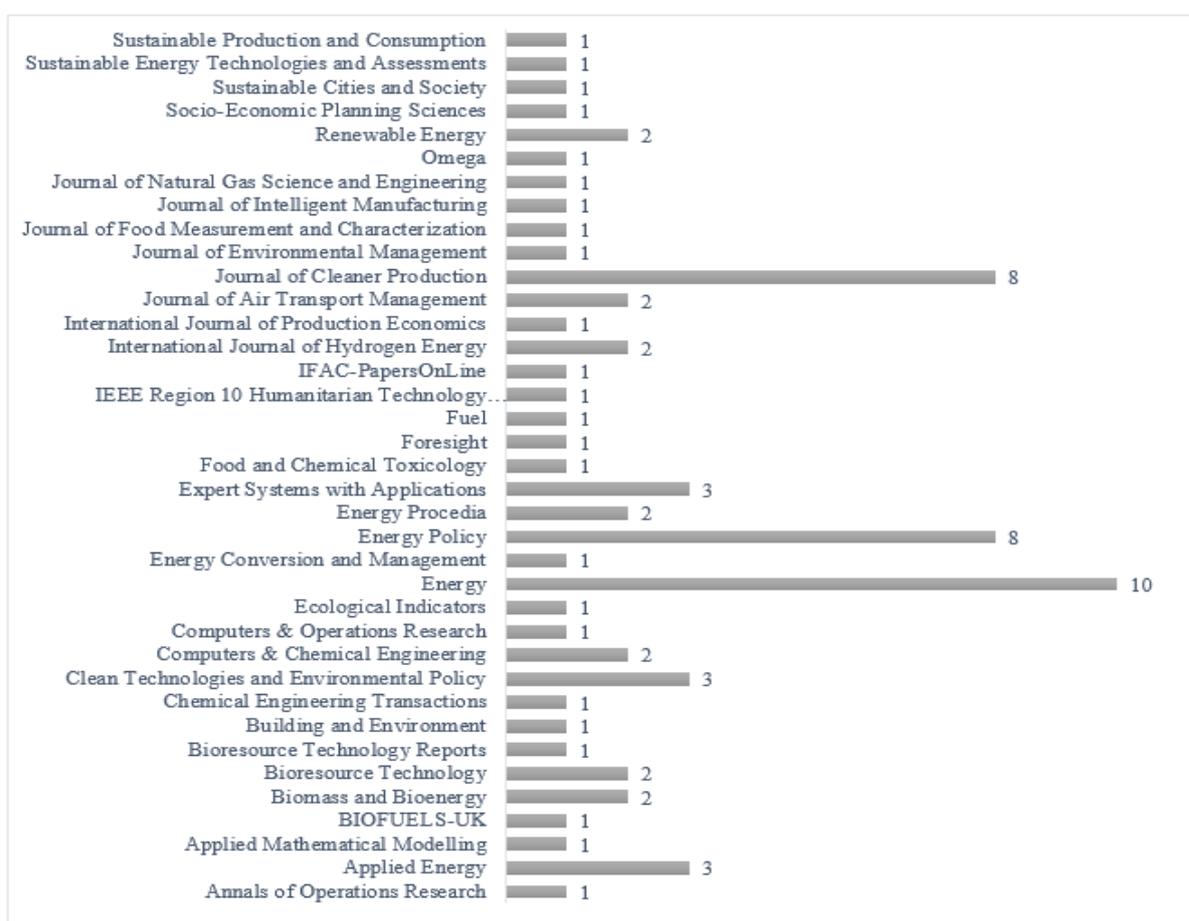
Ubando *et al.*, (2016) avaliaram cinco sistemas de cultivo de algas para geração de biocombustíveis por meio de método multicritério. Considerando os critérios: consumo de energia, economia, viabilidade, aceitabilidade social e robustez do Sistema. Além disso, simulação Monte Carlo

foi utilizado para criação de cenários. Os resultados mostraram o sistema foto biorreator é o sistema preferido para grandes cultivos de microalgas.

Por fim, Wheeler, Caballero, Ruiz-Femenia, Guillén-Gosálbez e Mele (2017) combinaram método multicritério com programação não linear com o objetivo de simplificar os problemas de engenharia sustentável. O modelo aborda as capacidades de um projeto sustentável na cadeia de açúcar/etanol. Os autores forneceram com solução um indicador de desempenho para toda a cadeia de suprimentos. A ferramenta pode ajudar o gestor na análise de políticas estratégicas no campo das agroindústrias e energia facilitando a tomada de decisão.

Ao considerar a quantidade de artigos por *Journal*, ou seja, por revistas, a análise encontrou 37 *Journals* distribuídos nas cinco bases de publicações. Na Figura 8 é demonstrado todas as informações encontradas.

Figura 8 - Quantidade de *Journals* citados

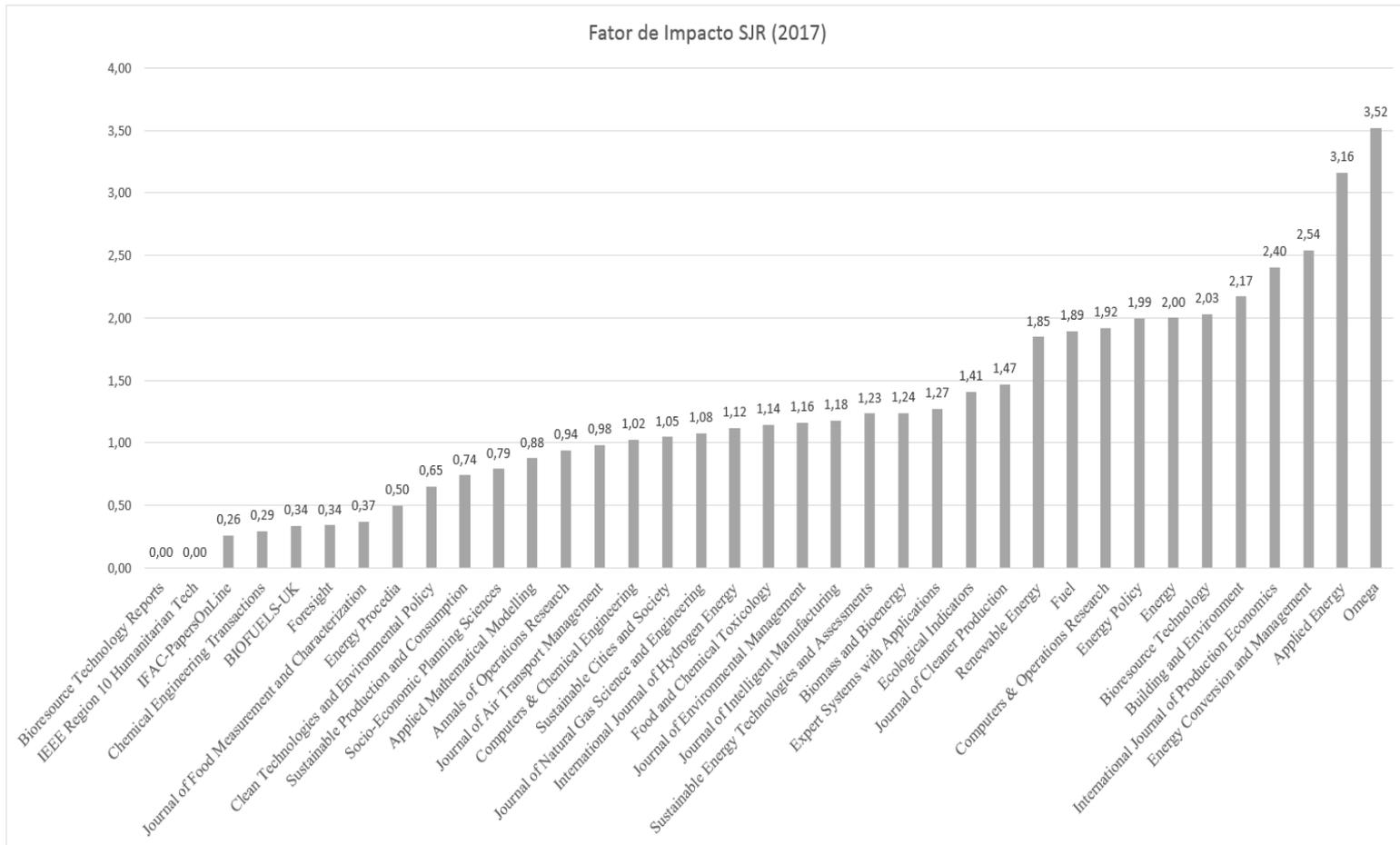


Fonte: Autores (2019).

As revistas com mais trabalhos publicados de acordo com a presente análise foram as seguintes: *Energy* (10), *Energy Policy* (8), *Journal of Cleaner Production* (8). Dessas revistas a “*Energy*” sendo a que mais recebeu trabalhos quando comparado com as demais, salienta-se que a plataforma recebe trabalhos voltados a temas relacionados a conservação de energia, eficiência energética, biomassa e bioenergia, energia renovável entre outros temas.

Esse estudo também buscou saber o fator de impacto (SJR) dos 37 *Journals* selecionados. Para isso, foi utilizado o site <<http://www.scimagojr.com/>> como fonte de coleta. As informações coletadas são do ano base de 2017. Na Figura 9 tem-se os 37 *Journals* pertencentes ao portfólio bibliográfico selecionado com as respectivas classificações. Salienta-se que não foram encontrados o SJR de 2 *Journals* pois ainda não foram avaliados.

Figura 9 - Fator de impacto SJR (2017)



Fonte: Autor (2019).

Dos 37 *Journals* selecionados, os que apresentam os maiores índices SJR, considerando o ano de 2017, ou seja, os *Journals* com fatores de impacto mais altos são os seguintes: “*Omega*” (3,521), “*Applied Energy*” (3,162) e “*Energy Conversion and Management*” (2,537). Desses 3 *Journals*, salienta-se que esta pesquisa analisou 1 artigo do *Journal “Omega”*, 3 artigos do *Journal “Applied Energy”* e 1 artigo do *Journal “Energy Conversion and Management”*.

Por fim, a última parte a ser considerada nesta análise bibliométrica foi o mapeamento e a criação de redes que serão apresentados logo abaixo.

Considerações finais

Neste estudo, foi possível identificar a utilização da metodologia AMD para auxílio na tomada de decisão no campo de biocombustíveis. Assim, usou-se de técnica bibliométrica para coletar e analisar as informações. As bases de publicações utilizadas *Springer, Scopus, Web of Science, Science Direct e Emerald Insigh*. Ao final da classificação, obteve-se um total de 73 artigos.

O método multicritério AHP foi amplamente utilizado, sozinho ou combinado com outros métodos. Além disso, foi demonstrado os autores que mais publicaram na área de biocombustível, os periódicos destaques e as metodologias desenvolvidas. Verificou-se que a metodologia auxílio multicritério à decisão (AMD) aplicada na parte de avaliação de sistemas de cultivo de microalgas merece destaque pela sua alta representatividade no número de publicações nos últimos anos.

Além disso, é indispensável citar que foi encontrado poucos artigos envolvendo biocombustíveis para aviação e modelos multicritério. Nesses estudos, os autores Chen e Ren (2018) avaliaram a sustentabilidade dos combustíveis alternativos de aviação; Acar Beskese e Temur (2018) avaliou sistemas de produção de biocombustível a base de hidrogênio como possibilidade de uso na aviação; Santos, Monteiro, Gomes, Souza Lima e Santos (2017) ranquearam as matérias primas que possuem o maior potencial para desenvolvimento de biocombustível para aviação comercial brasileira. Nesse sentido, a contribuição teórica do presente estudo está pautada na demonstração da escassez de estudos relacionados ao tema objetivo, possibilitando para diferentes autores informações relevantes para o desenvolvimento de novas pesquisas abordando o assunto de métodos multicritérios aplicados aos biocombustíveis de aviação. Como contribuição para a prática demonstra-se um modelo estruturado de pesquisa bibliométrica que pode ser utilizada em diferentes temas, bem como proporcionar *gaps* teóricos que poderão nortear novas pesquisas.

Como limitação deste estudo, identifica-se a limitação de acesso a algumas bases de informações. Sugere-se que a mesma pesquisa seja aplicada em mais bases de publicações como uma forma de expandir os indicadores de desempenho bibliométricos. Além disso, sugere-se a criação de setores estratégicos. Por exemplo, transportes, indústria, eletricidade. Com a finalidade de analisar como os métodos multicritérios estão sendo aplicados em setores distintos.

Referências

- Abotah, R., & Daim, T. U. (2017). Towards building a multi perspective policy development framework for transition into renewable energy. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 21, 67-88.
- Acar, C., Beskese, A., & Temur, G. T. (2018). Sustainability analysis of different hydrogen production options using hesitant fuzzy AHP. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(39), 18059-18076.
- Andrade Longaray, A., da Silva Munhoz, P. R., Gonçalves Tondolo, V. A., & Cassahi Quadro, R. (2016). Análise multicritério de decisão e sua aplicação na gestão da saúde: uma proposta de revisão sistemática da literatura. *Exacta*, 14(4).

ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). Demanda e oferta do Transporte aéreo – empresas brasileiras (2018). Brasília. Disponível em: < http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-do-transporte-aereo/arquivos/demanda_e_oferta_do_transporte_aereo___empresas_brasileiras___2018___2_v2.pdf>.. Acesso out 2018.

Bana E costa, C. A., & vansnick, J. C. (1995). A new approach to the problem of building a value function: MACBETH. *Investigação Operacional*, 15, 15-35.

Baudry, G., Macharis, C., & Vallée, T. (2018). Can microalgae biodiesel contribute to achieve the sustainability objectives in the transport sector in France by 2030? A comparison between first, second and third generation biofuels through a range-based Multi-Actor Multi-Criteria Analysis. *Energy*, 155, 1032-1046.

Benjamin, M. F. D., Tan, R. R., & Razon, L. F. (2015). Probabilistic multi-disruption risk analysis in bioenergy parks via physical input–output modeling and analytic hierarchy process. *Sustainable Production and Consumption*, 1, 22-33.

Bhushan, N., & Rai, K. (2007). *Strategic decision making: applying the analytic hierarchy process*. Springer Science & Business Media.

Billig, E., & Thraen, D. (2017). Renewable methane—A technology evaluation by multi-criteria decision making from a European perspective. *Energy*, 139, 468-484.

Brans, J. P. (1982). *L'ingénierie de la décision: l'élaboration d'instruments d'aide a la décision*. Université Laval, Faculté des sciences de l'administration.

Boeing, E., & fapesp, U. (2013). Plano de voo para biocombustíveis no Brasil: Plano de ação.

Cardona A., Carlos A.; Aristizábal, V., & Gómez, Á. (2015). Biorefineries based on coffee cut-stems and sugarcane bagasse: Furan-based compounds and alkanes as interesting products. *Bioresource technology*, 196, 480-489.

Caetano, N. R., Cataluña, R., & Vielmo, H. A. (2015). Analysis of the Effect on the Mechanical Injection Engine Using Doped Diesel Fuel by Ethanol and Bio-Oil. *International Review of Mechanical Engineering*, 9(2), 124-128.

Cataluña, R., Shah, Z., Venturi, V., Caetano, N. R., da Silva, B. P., Azevedo, C. M., ... & Oliveira, L. P. (2018). Production process of di-amylic ether and its use as an additive in the formulation of aviation fuels. *Fuel*, 228, 226-233.

Caetano, N. R., Venturini, M. S., Centeno, F. R., Lemmertz, C. K., & Kyprianidis, K. G. (2018). Assessment of mathematical models for prediction of thermal radiation heat loss from laminar and turbulent jet non-premixed flames. *Thermal Science and Engineering Progress*, 7, 241-247.

Cataluña, R., Shah, Z., Pelisson, L., Caetano, N. R., Da Silva, R., Azevedo, C., Biodiesel Glycerides from the Soybean Ethylic Route Incomplete Conversion on the Diesel Engines Combustion Process. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2017, 00, 1-8.

Cardoso, B. F., dos Santos Nascimento, J., de Araújo, A. F. V., Rodrigues, W., & de Oliveira, T. J. A. (2012). Análise multicritério na seleção de oleaginosas na cadeia de produção de biodiesel. *Revista de Economia Agrícola*, 59(1), 97-107.

- Chen, L., & Ren, J. (2018). Multi-attribute sustainability evaluation of alternative aviation fuels based on fuzzy ANP and fuzzy grey relational analysis. *Journal of Air Transport Management*, 68, 176-186.
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2012). SciMAT: A new science mapping analysis software tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(8), 1609-1630.
- Costa, H. G. (2006). *Auxílio multicritério à decisão: método AHP*. Rio de Janeiro: Abepro.
- Daim, T. U., Wang, B., Kocaoglu, D. F., & Yang, J. (2010). A decision model for energy resource selection in China. *Energy Policy*, 38(11), 7130-7141.
- Daim, T., Harell, G., & Hogaboam, L. (2012). Forecasting renewable energy production in the US. *Foresight*, 14(3), 225-241.
- Da Silva Souza, M. D. G., & Da Silva, O. C. (2016). Utilização da Técnica de Análise Hierárquica de Processo (AHP) para a Escolha de um Sistema de Help Desk. *Revista Espacios Vol. 37 (Nº 16) Ano 2016*.
- De Andrade, A. L. C., & Mattei, L. (2011). Consumo energético e emissões de CO₂: uma análise do setor de transportes brasileiro.
- Del Monte, D. M., Vizcaíno, A. J., Dufour, J., & Martos, C. (2019). Effect of K, Co and Mo addition in Fe-based catalysts for aviation biofuels production by Fischer-Tropsch synthesis. *Fuel Processing Technology*, 194, 106102.
- De Azevedo, A. N. G., & de Azevedo Lima, B. G. (2016). Biocombustíveis: influência no desenvolvimento e inserção internacional. *Revista Direito Ambiental e Sociedade*, 6(1).
- De Carvalho Chaves, M. C., Gomes, C. F. S., & Pereira, E. R. (2014). Avaliação de biocombustíveis utilizando o apoio multicritério à decisão. *Production*, 24(3), 495-507.
- De Carvalho, R. G., Kruk, N. S., & Belderrain, M. C. N. (2016). Aplicação do método de análise hierárquica para seleção de sistemas de separação água/óleo em aeroportos para diferentes cenários. *Blucher Marine Engineering Proceedings*, 2(1), 64-75.
- Delgado, F., Sousa, M. E. D., & Roitman, T. (2017). Biocombustíveis.
- De Souza, S. C. F. (2008). Biocombustíveis, globalização dos problemas ambientais e a crise alimentar.
- Dos Santos, M., Monteiro, F. M. B., Gomes, C. F. S., de Souza Lima, J. C., & dos Santos, A. C. R. Aplicação do Método MACBETH na hierarquização de biocombustíveis para a aviação comercial brasileira: um estudo de viabilidade.
- Ferenhof, H. A., & Fernandes, R. F. (2013). Passo-a-passo para construção da Revisão Sistemática e Bibliometria. http://www.igci.com.br/artigos/passos_rsb.pdf. Acesso em set 2018.
- Favretto, J., & Nottar, L. A. (2016). Utilização da metodologia Analytic Hierarchy Process (AHP) na definição de um software acadêmico para uma Instituição de Ensino Superior do Oeste Catarinense. *Sistemas & Gestão*, 11(2), 183-91.
- Fergnani, A. (2019). Mapping futures studies scholarship from 1968 to present: A bibliometric review of thematic clusters, research trends, and research gaps. *Futures*, 105, 104-123.

- Garbin, R. B., & Henkes, J. A. (2018). A sustentabilidade na produção de biocombustíveis de aviação no Brasil. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 7(2), 67-104.
- Gomes, L. F. A. M., Gomes, C. F. S., & Almeida, A. T. (2009). Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério. revista e ampliada. São Paulo. Ed. Atlas.
- Gomes, L. F. A. M., & Lima, M. M. P. P. (1992). From modeling individual preferences to multicriteria ranking of discrete alternatives: a look at prospect theory and the additive difference model. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 17(3), 171-184.
- Gomes, L. F. A. M., González, M. C. A., & Carignano, C. (2004). Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão. Thomson.
- Gomes, C. A., & Sampaio, J. S. (2017). Biocombustíveis: a caminho de uma " sociedade de reciclagem". e-Pública: *Revista Eletrônica de Direito Público*, 4(2), 389-418.
- Hoa, N. T., Promentilla, M. A. B., Yu, K. D. S., & Aviso, K. B. (2016). A model for multi-criterion disaster vulnerability assessment of economic systems: implications for Vietnam's bioethanol policy. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(6), 1917-1929.
- Hwang, C. L., Lai, Y. J., & Liu, T. Y. (1993). A new approach for multiple objective decision making. *Computers & operations research*, 20(8), 889-899.
- Icao. (2016). Environmental report 2016. Aviation and climate change, 2016. Disponível em: <<https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/env2016.aspx>>. Acesso em 02 out. 2018.
- Ishizaka, A., & Labib, A. (2011). Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert systems with applications*, 38(11), 14336-14345.
- Koistinen, K., Upham, P., & Bögel, P. (2019). Stakeholder signalling and strategic niche management: The case of aviation bioerosene. *Journal of Cleaner Production*, 225, 72-81.
- Luz Jr, L. F. D. L., Kaminski, M., Kozak, R. H., & Ndiaye, P. M. (2009). Bioetanol, biodiesel e biocombustíveis: perspectivas para o futuro.
- Marins, C. S., Souza, D. D. O., & Barros, M. D. S. (2009). O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais—um estudo de caso. *XLI SBPO*, 1, 49.
- Mohseni, S., Pishvae, M. S., & Sahebi, H. (2016). Robust design and planning of microalgae biomass-to-biodiesel supply chain: A case study in Iran. *Energy*, 111, 736-755.
- Mueller, D., Hoard, S., Smith, P., Sanders, C., & Gaffney, M. J. (2019). Airport management perspectives on aviation biofuels: drivers, barriers, and policy requirements in the US Pacific Northwest. *International Journal of Aviation Management*, 4(3), 163-181.
- Millinger, M., Meisel, K., & Thrän, D. (2019). Greenhouse gas abatement optimal deployment of biofuels from crops in Germany. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 69, 265-275.
- Nunes, G. S. (2018). Aplicação do Método AHP para Auxílio à Tomada de Decisão de Localidade para Instalação de Operação de Apoio Logístico Offshore (Doctoral dissertation, PUC-Rio).

- Nwokoagbara, E., Olaleye, A. K., & Wang, M. (2015). Biodiesel from microalgae: The use of multi-criteria decision analysis for strain selection. *Fuel*, 159, 241-249.
- Pilavachi, P. A., Chatzipanagi, A. I., & Spyropoulou, A. I. (2009). Evaluation of hydrogen production methods using the analytic hierarchy process. *International Journal of hydrogen energy*, 34(13), 5294-5303.
- Ren, J., & Sovacool, B. K. (2014). Enhancing China's energy security: Determining influential factors and effective strategic measures. *Energy conversion and management*, 88, 589-597.
- Pissinelli, G. J. (2016). Decisão multicritério aplicada à análise para localização de terminal intermodal= Multicriteria decision applied to analysis to intermodal terminal location.
- Rezaeian, M., Montazeri, H., & Loonen, R. C. G. M. (2017). Science foresight using life-cycle analysis, text mining and clustering: A case study on natural ventilation. *Technological Forecasting and Social Change*, 118, 270-280.
- Ribeiro, M. C. D. C. R., & da Silva Alves, A. (2016). Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. *Sistemas & Gestão*, 11(3), 270-281.
- Roy, B. (1990). The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. In *Readings in multiple criteria decision aid* (pp. 155-183). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Leite, I. M. S., & Freitas, F. F. T. (2012). Análise comparativa dos métodos de apoio multicritério à decisão: AHP, ELECTRE e PROMETHEÉ. XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Bento Gonçalves (Brasil).
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1), 9-26.
- Saaty, T. L. (1991). Método de análise hierárquica. São Paulo: Makron.
- Saaty, T. L. (2004). Fundamentals of the analytic network process—Dependence and feedback in decision-making with a single network. *Journal of Systems science and Systems engineering*, 13(2), 129-157.
- Saaty, T. L. (2005). Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks. RWS publications.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- Saaty, T. L. (2013). Mathematical principles of decision making (Principia mathematica decernendi). RWS publications.
- Scott, J. A., Ho, W., & Dey, P. K. (2012). A review of multi-criteria decision-making methods for bioenergy systems. *Energy*, 42(1), 146-156.
- Secretaria Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (SPG) / Ministério de Minas e Energia (MME) (2016). Boletim Mensal de Biocombustíveis. Disponível em: <<<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/publicacoes/boletim-mensal-de-combustiveis-renovaveis/2016>>>. Acesso em 20 out. 2018.

- Scott, J. A., Ho, W., & Dey, P. K. (2013). Strategic sourcing in the UK bioenergy industry. *International journal of production economics*, 146(2), 478-490.
- Tan, J., Sulaiman, N. N., Tan, R. R., Aviso, K. B., & Promentilla, M. A. B. (2014). A hybrid life cycle optimization model for different microalgae cultivation systems. *Energy Procedia*, 61, 299-302.
- Tan, J., Tan, R. R., Aviso, K. B., Promentilla, M. A. B., & Sulaiman, N. M. N. (2017). Study of microalgae cultivation systems based on integrated analytic hierarchy process–life cycle optimization. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(8), 2075-2088.
- Tsita, K. G., & Pilavachi, P. A. (2012). Evaluation of alternative fuels for the Greek road transport sector using the analytic hierarchy process. *Energy policy*, 48, 677-686.
- Tsita, K. G., & Pilavachi, P. A. (2013). Evaluation of next generation biomass derived fuels for the transport sector. *Energy policy*, 62, 443-455.
- Ubando, A. T., Cuello, J. L., El-Halwagi, M. M., Culaba, A. B., Promentilla, M. A. B., & Tan, R. R. (2016). Application of stochastic analytic hierarchy process for evaluating algal cultivation systems for sustainable biofuel production. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(5), 1281-1294.
- Ubando, A. T., Cuello, J. L., Culaba, A. B., Promentilla, M. A. B., & Tan, R. R. (2014). Multi-criterion evaluation of cultivation systems for sustainable algal biofuel production using analytic hierarchy process and Monte Carlo simulation. *Energy Procedia*, 61, 389-392.
- Ulhoa, S. A. (2014). Produção de Biocombustíveis: um panorama sobre o discurso ambiental e econômico. *Acervo da Iniciação Científica*, (2).
- Vásquez, M. C., Martínez, A., Castillo, E. F., & Silva, E. E. (2019). Holistic approach for sustainability enhancing of hydrotreated aviation biofuels, through life cycle assessment: A Brazilian case study. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117796.
- Velasquez, M., & Hester, P. T. (2013). An analysis of multi-criteria decision making methods. *International Journal of Operations Research*, 10(2), 56-66.
- Vilt, J. F. (2017). O atual cenário dos combustíveis alternativos na aviação mundial. *Ciências Aeronáuticas-Unisul Virtual*.
- Wheeler, J., Caballero, J. A., Ruiz-Femenia, R., Guillén-Gosálbez, G., & Mele, F. D. (2017). MINLP-based Analytic Hierarchy Process to simplify multi-objective problems: Application to the design of biofuels supply chains using on field surveys. *Computers & Chemical Engineering*, 102, 64-80.
- Wind, Y., & Saaty, T. L. (1980). Marketing applications of the analytic hierarchy process. *Management science*, 26(7), 641-658.
- Zhang, L., Yu, J., Sovacool, B. K., & Ren, J. (2017). Measuring energy security performance within China: Toward an inter-provincial prospective. *Energy*, 125, 825-836.
- Zografidou, E., Petridis, K., Arabatzis, G., & Dey, P. K. (2016). Optimal design of the renewable energy map of Greece using weighted goal-programming and data envelopment analysis. *Computers & Operations Research*, 66, 313-326.
- Zyoud, S. H., & Fuchs-Hanusch, D. (2017). A bibliometric-based survey on AHP and TOPSIS techniques. *Expert Systems with Applications*, 78, 158-181.

Recebido em: 18 jun. 2019 / **Aprovado em:** 09 out. 2019

Para referenciar este texto

American Psychological Association (APA)

Missaggia, A. B., Caetano, N R., Silva, D. J. C da, & Ruppelt, M. A. N. (2020, out./dez.). Tomada de decisão multicritério aplicada à biocombustíveis. *Exacta*, 18(4), 887-913. <https://doi.org/10.5585/exactaep.v18n4.14265>.