

ESTUDO BIBLIOMÉTRICO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR MULTI OBJETIVO NO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

BIBLIOMETRIC STUDY OF THE APPLICATION OF THE MULTI-OBJECTIVE LINEAR PROGRAMMING METHOD IN ENERGY PLANNING

LUCAS CORDEIRO RANGEL

UFF - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

DALESSANDRO SOARES VIANNA

UFF - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

MARCILENE DE FÁTIMA DIANIN VIANNA

UFF - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

EDWIN BENITO MITACC MEZA

UFF - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

Nota de esclarecimento:

Comunicamos que devido à pandemia do Coronavírus (COVID 19), o IX SINGEP e a 9ª Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) foram realizados de forma remota, nos dias **20, 21 e 22 de outubro de 2021**.

ESTUDO BIBLIOMÉTRICO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR MULTIOBJETIVO NO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

Objetivo do estudo

O objetivo deste artigo é realizar um estudo bibliométrico dos documentos publicados que envolvam a otimização multiobjetivo, assim como sua aplicação para o planejamento de matrizes energéticas.

Relevância/originalidade

O Brasil é identificado como uma das maiores potências mundiais energéticas e de conservação. Logo, o planejamento da matriz energética elétrica brasileira se faz necessário e a Programação Linear Multiobjetivo pode ser empregada para entregar o resultado esperado para validar o modelo.

Metodologia/abordagem

A metodologia proposta foi estruturada em quatro etapas principais, sendo a definição de termos, seleção de bases através de comunidade acadêmica federada; a seleção de termos mais relevantes; a terceira é a integração das bases e a quarta à análise de dados.

Principais resultados

A finalidade do trabalho foi atingida, porque buscou-se realizar um estudo bibliométrico considerando o setor de energia elétrica e programação linear e aumento na curva de produção acadêmica ao longo dos últimos dez anos.

Contribuições teóricas/metodológicas

A avaliação da base de dados demonstra que a análise a partir de diferentes métodos existe a relevância e atratividade entre os temas. Também a implementação de novas tecnologias podem gerar análises mais profundas em estudos bibliométricos.

Contribuições sociais/para a gestão

A contribuição deste estudo resulta na apresentação de aplicações relevantes e cada vez em maior volume que podem servir como modelo para orientar a tomada de decisão.

Palavras-chave: Bibliometria, Programação Linear Multiobjetivo, Matriz Energética

BIBLIOMETRIC STUDY OF THE APPLICATION OF THE MULTI-OBJECTIVE LINEAR PROGRAMMING METHOD IN ENERGY PLANNING

Study purpose

The objective of this article is to conduct a bibliometric study of published documents involving multi-objective optimization as well as its application for the planning of energy matrices.

Relevance / originality

Brazil is identified as one of the world's greatest energy and conservation powers. Therefore, the planning of the Brazilian electric energy matrix is necessary and the Multiobjective Linear Programming can be used to deliver the expected result to validate the model.

Methodology / approach

The proposed methodology was structured in four main stages, being the definition of terms and selection of bases through the federated academic community; selecting the most relevant terms; the third is the integration of databases and the fourth is data analysis.

Main results

The purpose of the work was achieved because we sought to conduct a bibliometric study considering the electricity sector and linear programming and increase in the academic production curve over the last ten years.

Theoretical / methodological contributions

The evaluation of the database demonstrates that the analysis using different methods reinforces the relevance and attractiveness between the themes. Also the implementation of new technologies can generate deeper analysis in bibliometric studies.

Social / management contributions

The contribution of this study results in the presentation of relevant applications and increasingly in increasing volume that can serve as a model to guide decision making.

Keywords: Matriz Energética, Multi-Objective Linear Programming, Energy Matrix

1 Introdução

Desde o surgimento da revolução industrial, a energia é um elemento indispensável para evolução da sociedade humana moderna. Com o aumento da população e a criação de novas necessidades, a sustentabilidade, o planejamento e a disponibilidade energética se tornam um dos desafios que são enfrentados atualmente pelos governos e pelas empresas do setor energético. (OLIVEIRA, J. F. G. De; TRINDADE, 2018)

Considerando que para o desenvolvimento saudável do país é necessária uma expansão dos recursos energéticos, logo é fundamental possuir a capacidade de fornecer meios logísticos e energia para seu crescimento levando em conta os fatores de segurança impostos, competição justa e um processo de produção e distribuição ambientalmente sustentável. (TOLMASQUIM, M. T., 2012)

O poder público tem papel fundamental no setor energético, sendo responsável em traçar o comportamento dos consumidores dos diferentes setores a fim de criar mecanismos que gerem o uso consciente da energia elétrica gerada considerando os termos ambientais e segurança de fornecimento, desta maneira otimizando o uso de energia de todo país (ALTOÉ et al., 2017).

Diversos países nas últimas décadas têm criado mecanismos políticos e governamentais de incentivo de conservação de energia para frear a emissão da poluição gerada pela produção desse bem e reduzir o seu consumo. Como exemplo, os Estados Unidos desde a década de 70 vêm desenvolvendo normas referentes a melhoria da eficiência energética devido todas as crises cíclicas apresentadas do mercado do petróleo; a União Europeia deu início a formulação de leis e instrumentos legais na mesma época e com objetivo de proteção ao meio ambiente e segurança da população. É importante ainda citar que a União Europeia desde então têm fixado metas de redução da demanda de energia e de emissão de poluentes de todos seus participantes. (ALTOÉ et al., 2017; FOUQUET, 2013; DIXON et al., 2010)

Segundo GELLER et al. (2004), o Brasil iniciou a jornada de criação de leis, normativas e instrumentos de regulação, incentivo e otimização energética na década de 1980, as quais vem surtido efeito no que se refere o aumento de geração de energia através de fontes renováveis e a independência interna de petróleo. Por outro lado, os esforços para alavancar a corrida pela melhoria da eficiência energética foram consideradas relativamente tímidas.

O setor energético brasileiro, principalmente o setor de produção de energia elétrica, está entre os que mais se recuperam a capacidade de planejamento e execução das ações planejadas de forma conjunta ao governo e as empresas privadas. Muito disso se deve a revisão do marco regulatório em 2004 que favoreceu investimentos externos e criação dessas parcerias. Com isso, o país é identificado como uma das maiores potências energéticas e de conservação ambiental no que tange ao regime energético. Atualmente, além da capacidade hidráulica do país, o Brasil conta com investimento em outras energias renováveis como eólica, etanol e biomassa com incentivo de crescimento para os próximos anos (TOLMASQUIM, M. T., 2012).

Motivado pelas necessidades citadas anteriormente, um planejamento da matriz energética elétrica brasileira se faz necessário e com a contribuição de métodos matemáticos para validar essa proposta. A utilização do método de Programação Linear Multiobjetivo pode entregar de forma objetiva o resultado esperado. Visto que consistem, por definição, na modelagem matemática do problema para encontrar o melhor resultado dentro de universo de alternativas viáveis considerando os critérios de aceitação e função objetivo (LUC, 2016).

O objetivo deste artigo é realizar um estudo bibliométrico dos documentos publicados que envolvam a otimização multiobjetivo e assim como sua aplicação para o planejamento de matrizes energéticas.

2 Referencial Teórico

A Programação Linear Multiobjetivo é aplicada na solução de problemas de tomada de decisão considerando múltiplos objetivos com a finalidade de chegar em uma alternativa ótima, esta que não necessariamente irá atender a todos os critérios em valor máximo, mas sim será a alternativa que tem o seu resultado melhor do que sua ordem anterior. Como por exemplo, o problema de distribuição de energia elétrica que é focado no atendimento da demanda e também na minimização de custos e emissões. (LUC, 2016; BARROS; TOPOROWICZ; BRANCO, 2017)

O termo bibliometria foi cunhado inicialmente em 1969 por Pritchard e definido como a aplicação de métodos matemáticos e estatísticos para classificação de livros e outras mídias (PRITCHARD, 1969). Contudo, definições mais modernas definem que se trata de um método analítico da estrutura e tendência da literatura, assim como pode ser aplicada como ferramenta para caracterizar aspectos científicos em grau de contribuição como autores, países, instituições, universidades, entre outros. (MUHURI; SHUKLA; ABRAHAM, 2019)

Em um estudo bibliométrico, algumas premissas devem ser seguidas dependendo do estudo, podendo ser o atendimento das leis que regem o estudo, dimensão suficiente da base de dados e dependendo da situação abranger estudo quantitativos e qualitativos com apresentação de novas possibilidades. (CHUEKE; AMATUCCI, 2015).

3 Metodologia

Neste estudo serão atendidas a Lei de Bradford que mede o grau de relevância do periódico e maior fluxo ao tema selecionado, a Lei de Zipf que avalia a frequência de palavras-chave e estima os temas mais recorrentes ao campo do conhecimento e a Lei de Lotka que avalia a produtividade e o impacto do autor na área de conhecimento. (CHUEKE; AMATUCCI, 2015)

A fim de atender os requisitos, a metodologia proposta para o desenvolvimento do presente estudo foi estruturada em quatro etapas principais, sendo a primeira a definição de termos, seleção de bases com acesso livre através de comunidade acadêmica federada; a segunda com a seleção de termos mais relevantes; a terceira é responsável pela integração das bases e a quarta à análise de dados. A seguir é apresentado o detalhamento dessas etapas.

Para essa etapa foi feita uma pesquisa inicial pelo Portal de Periódicos Capes, considerando os termos “Energy” e “Multiobjective optimization” devido limitação de dois itens do sistema do próprio site e por ser mais abrangente para uma pesquisa preliminar. Os termos selecionados foram considerados nas buscas filtrando, separadamente, pelos campos de título, assunto e todos os campos, assim como documentos revisados por pares e considerando o período entre primeiro de janeiro de 2011 e 27 de maio de 2021.

A estratégia utilizada para definição dos termos iniciou-se a pesquisa com termos mais abrangentes nos campos de energia e pesquisa operacional até reduzir a termos específicos. Para realizar a aproximação dos termos foi feita a leitura de resumos e títulos dos periódicos selecionados por amostragem e identificada a convergência e relação ao campo do estudo. Em todas as pesquisas realizadas foram feitas considerando os campos de título, resumo e palavras-chave, abrangendo publicações entre 2011 e 2021 e apenas produções revisadas por pares.

Com as pesquisas realizadas nas bases de dados foi possível gerar relatórios em extensões de arquivos específicos de cada uma delas para tratamento de erros e combinação posterior das mesmas. Foi utilizada a biblioteca *bibliometrix* (CHUEKE; AMATUCCI, 2015), para realizar o processo de ETL (*Extract, Transform and Load*) dos dados, transformação em

um *dataframe* resultante. Por fim, a partir do *dataframe* foi gerado um arquivo de saída no formato de planilha Microsoft Excel (“.xlsx”) e a análise dos resultados foi realizada utilizando uma interface de um pacote chamado *biblioshiny* desenvolvido para a linguagem de programação estatística R.

4 Análise dos resultados

Neste trabalho os resultados obtidos foram divididos em quatro partes sendo a primeira a apresentação dos resultados da seleção das bases de dados; a segunda da redução e análise dos termos relevantes; a terceira seção é dedicada aos resultados da coleta de dados e integração e a última para análise e insights do conjunto de dados levantado nas etapas anteriores.

4.1 Da seleção de base de dados

Devido limitação do sistema do próprio site foram buscados os termos “*Energy*” e “*Multiobjective optimization*” considerando separadamente as buscas pelos campos de título, assunto e todos os campos, considerando o período entre primeiro de janeiro de 2011 e 27 de maio de 2021. Retornando da pesquisa 1420 documentos totais sendo 1350 revisado por pares no campo filtrado por títulos, no campo filtrado por assunto 1449 e 1394 documentos e considerando todos os campos possíveis de pesquisa 26915 e 26037 documentos.

Com base nesses termos, utilizou-se a ferramenta do portal de periódico e verificar as principais bases de dados que continham a maior quantidade de documentos científicos possíveis. A Tabela 1 contém a classificação das cinco primeiras colocadas no ranking de número de publicações. É possível notar que as duas primeiras bases, *Scopus* e *Web of Science*, se repetem nas classificações e proporcionalmente possui um maior número de documentos publicados. Dessa forma optou-se por prosseguir com apenas essas duas bases de dados.

Tabela 1 - Resultado das bases de dados

Classificação	Título (número de publicações)	Assunto (número de publicações)	Todos os campos (número de publicações)
1	Science Citation Index Expanded (Web of Science)(862)	Science Citation Index Expanded (Web of Science)(1.160)	Science Citation Index Expanded (Web of Science)(19.220)
2	Scopus (Elsevier)(827)	Scopus (Elsevier)(1.057)	Scopus (Elsevier)(18.898)
3	ScienceDirect (Elsevier)(781)	Materials Science & Engineering Database(723)	Materials Science & Engineering Database(16.074)
4	OneFile (GALE)(607)	ScienceDirect (Elsevier)(714)	Advanced Technologies & Aerospace Database(13.109)

5	Materials Science &	Advanced	OneFile (GALE)(10.011)
	Engineering	Technologies &	
	Database(571)	Aerospace	
		Database(598)	

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

4.2. Da redução e análise de termos relevantes

Após a definição das bases foi realizada a pesquisa nas plataformas da Scopus e *Web of Science* utilizando os indexadores de buscas avançados e os termos iniciais as palavras inglesas *energy*, *power* e *optimization* e suas possíveis variações como forma de alcançar um maior número de periódicos e a partir disso restringindo as variações dos termos, adicionando filtros de ano de produção de documentos e limitando tipos de documentos conforme dispostos na Tabela 2.

Ainda na Tabela 2 foram criados acrônimos para emular as entradas e filtros das pesquisas em ambas as bases, no qual “TRP” representa a função responsável por limitar a busca nos campos de título, resumo e palavra-chave; “Ano” para limitar os anos de produção dos itens; “LA” é a função para limitar os termos pesquisados; e “ar” representa artigos publicados em revistas e “ac” artigos em congressos. Os operadores booleanos escolhidos foram “+” para representar a lógica “OU” e “.” para lógica “E”.

É notório que os valores dos resultados foram reduzindo com a redução e alteração de termos e adição de filtros e a evolução desses termos foi necessária para aproximar os resultados do tema proposto para o trabalho proposto. Na última linha da Tabela 2 foi alcançado o objetivo de proximidade dos termos, que foi feito a partir da leitura dos títulos e resumos de algumas amostras dos itens selecionados. Resultando na base de dados do Scopus com 246 documentos e do Web of Science com 224 documentos.

Tabela 2 - Indexadores de busca

Indexador de Busca	Filtros	Resultados	
		SCOPUS	WoS
TRP("Energy" + "energy matrix" + "energy power" + "renewable energy" + "energy generation" + "generation sources") · TRP("power generation" + "power sources") · TRP("multi-objective Optimization" + "Optimization")	Ano > 2010	13594	7268
TRP("Energy" + "energy matrix" + "energy power" + "renewable energy" + "energy generation" + "generation sources") · TRP("power generation" + "power sources") · TRP ("multi-objective Optimization")	Ano > 2010	883	409
TRP("Energy" + "energy matrix" + "energy power" + "renewable energy" + "energy generation" + "generation sources") · TRP("power generation" + "power sources") · TRP ("multi-objective Optimization")	Ano > 2010 LA("ar" · "ac")	813	372

TRP("Energy" + "energy matrix" + "energy power" + "renewable energy" + "energy generation" + "generation sources") · TRP("power generation" + "power sources") · TRP ("multi-objective Optimization") · PC("Power Generation" + "Multi-objective Optimization")	Ano > 2010 LA("ar" · "ac")	574	NA ^a
TRP("Multiobjective" + "Multi-objective" + "Multi-objective optimization" + "Multiobjective optimization") · TRP("Energy Matrix" + "Electrical Energy" + "Electrical Power Matrix")	Ano > 2010	246	224

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Nota.

^a Acrônimo para o termo “Não Aplicável”. Isso se deve ao fato da plataforma do WoS não possuir a ferramenta necessária para emular a entrada a partir do termo “PC”, o qual limita somente por palavra chave. Logo não foi possível gerar uma saída válida.

4.3. Da coleta de dados e integração de bases

Após a redução e definição dos termos relevantes a pesquisa, foi feita a aquisição das bases de dados do *Scopus* e da *Web of Science* a partir de aplicações dos próprios sites, extraindo um relatório completo contendo todos os campos relacionados as informações de citações, bibliografia, resumos, palavras chaves e fundação. O formato do arquivo escolhido foi o BibTeX, porque se trata de uma extensão específica para e preparada para gerenciamento de bibliografias.

Na sequência foi utilizada a ferramenta *bibliometrix* (ARIA; CUCCURULLO, 2017) para linguagem R a fim de realizar o tratamento das bases, assim como uni-las retirando os itens repetidos seguindo a regra de caso encontre repetido manter os itens da base *Scopus* e remover da *Web of Science* e gerar as análises bibliométricas. Esse último item será apresentado na seção 3.4 deste trabalho.

4.4. Da análise da produção científica

A primeira análise demonstrada no diagrama da Figura 1 é possível notar que as bases possuem artigos exclusivos e demonstra a importância da diversificação da base de dados, uma vez que as bases *Scopus* e *Web of Science* possuem 66 e 46 artigos exclusivos, respectivamente.

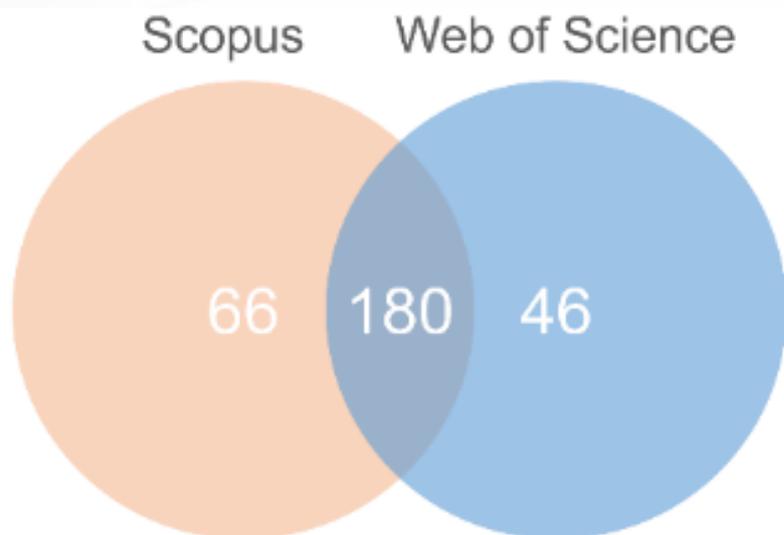


Figura 1. Diagrama de Venn dos números de publicação por base de dados

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Na Figura 2 é possível observar uma tendência de crescimento dos números de publicações ao longo dos últimos dez anos. Apesar de não ser possível garantir estatisticamente o crescimento da produtividade acadêmica, tal análise demonstra a relevância do tema na comunidade acadêmica nos últimos anos, principalmente nos últimos três anos, no qual é possível notar um de mais de 30% em relação a períodos anteriores.

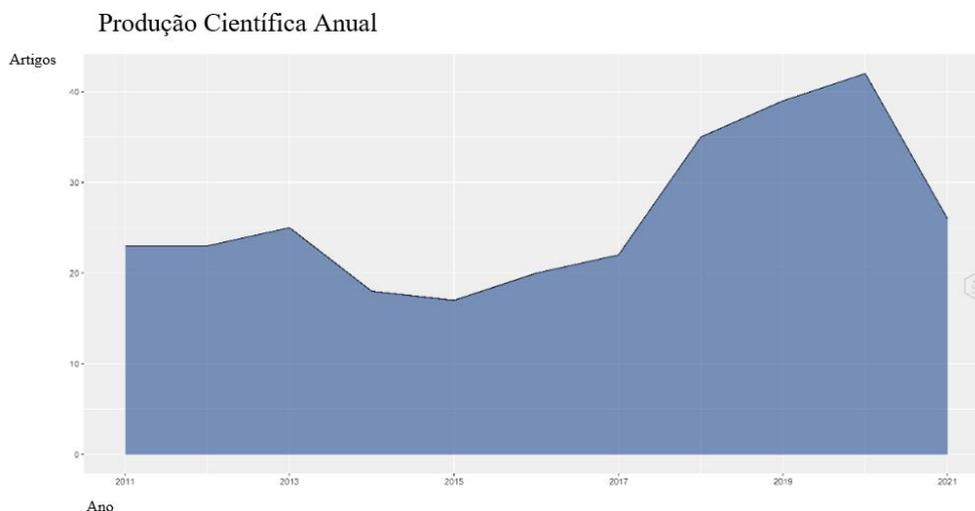


Figura 2. Números de publicações por ano entre 2011 e 2021

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Na Figura 3 é possível observar os países produtores de conteúdo científico no ramo de otimização de recursos energéticos, sendo os principais Irã, China, Índia e Estados Unidos com frequência de produção acadêmica de 86; 54; 46; e 27 documentos, respectivamente, no período compreendido entre 2011 e 2021. Esta motivação para realização de pesquisas de otimização nesse ramo está relacionada diretamente produção e consumo de energia de cada país.

A análise faz-se válida visto que os países citados são superpotências energéticas em categorias renováveis e não renováveis, sendo a China o segundo maior produtor de energia e

o Irã um dos principais produtores de combustíveis não renováveis do mundo, em posição estratégica entre Ásia e Europa e ainda com grande produção energética a partir de gás natural (CHANG *et al.*, 2003; BROWNBACE *et al.*, 2006; HOSSEINI *et al.*, 2013). O Brasil ainda está entre os principais produtores, visto que está de forma geral entre os dez maiores produtores de energia em diferentes fontes geradoras (BP, 2020).

Produção Científica por País

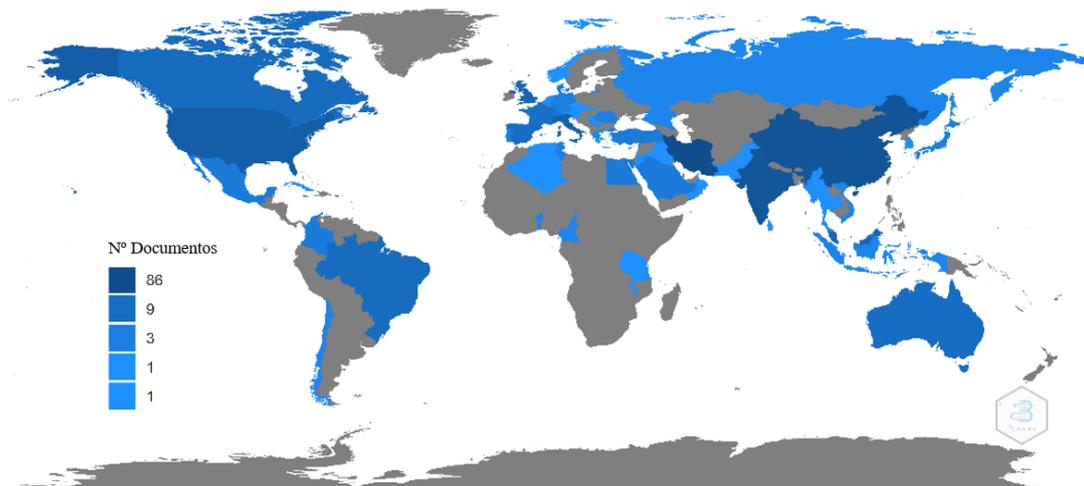


Figura 3. Produção acadêmica por país

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

A Figura 4 apresenta o resultado a partir das bases de dados em relação a lei de Bradford, ou seja, identifica os principais periódicos do conteúdo de energia relacionados a otimização multiobjetivo. É possível observar que existem 16 periódicos que estão no núcleo, o que significa que são os que mais produzem conteúdo sobre o tema. Contudo, pelo gráfico não ter uma escala linear, existe uma assimetria entre a primeira colocada *Energy* e seus demais correlatos, demonstrando a importância desse periódico.

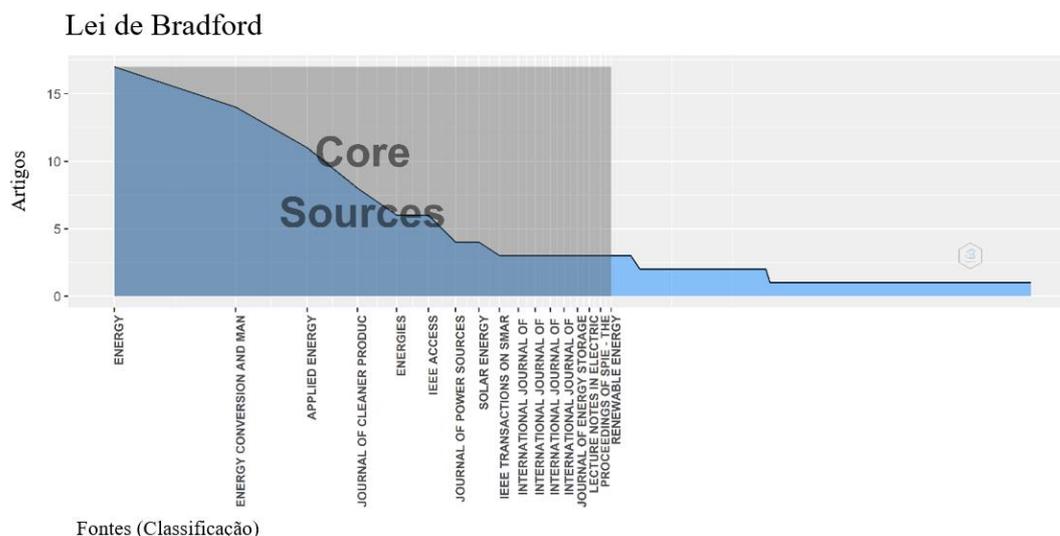


Figura 4. Gráfico analítico da Lei de Bradford

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Com os dados obtidos foi possível realizar uma relação entre os números de autores e documentos escritos a fim de atender a Lei de Lotka no qual teve um total de 776 autores escrevendo apenas um documento e representando 90,5% da proporção de autores; 63 autores escrevendo 2 documentos representando apenas 7,4% da base de autores. Como a soma os demais resultados representam menos de 3% da base de dados, eles não serão apresentados, apenas destacando um desses resultados que destoam dos demais que foi apenas um autor que escreveu 26 documentos sobre o assunto, assim destacando um possível especialista no assunto.

A Figura 5 apresenta a frequência das palavras chaves mais relevantes para base de dados levantada. Nesta base é possível verificar uma relação muito forte dos termos *multiobjective optimization* com o termo *“electrical energy”*, o que demonstra a relevância e atratividade entre os temas.

Árvore

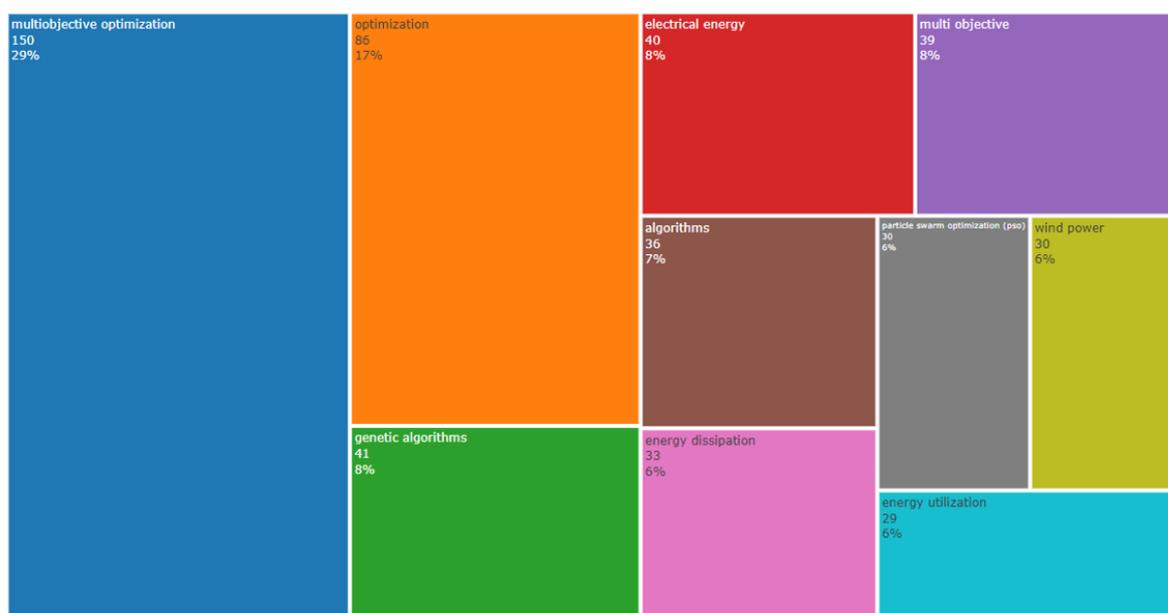


Figura 5. Frequência de palavras chave (Lei de Zipt)

Fonte: Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Uma análise mais abrangente de termos foi feita um mapa de concorrência de palavras-chaves (Figura 6), considerando apenas os 50 termos mais recorrentes nos documentos. Do ponto de vista estático, ou seja, sem analisar a frequência no tempo, os termos *“optimization”* e *“multiobjective optimization”* são pontos centrais nas amostras, representados por círculos maiores e com ligações com os outros grupos de palavras chave. Ainda é possível notar a relação dos termos com palavras chave relacionada a energia como por exemplo: *“electrical energy cost”*; *“energy dissipation”*; *“electrical power”* e *“energy utilization”*. Considerando esses pontos, a utilização do método de otimização multiobjetivo mostra-se interessante para este modelo de estudo.

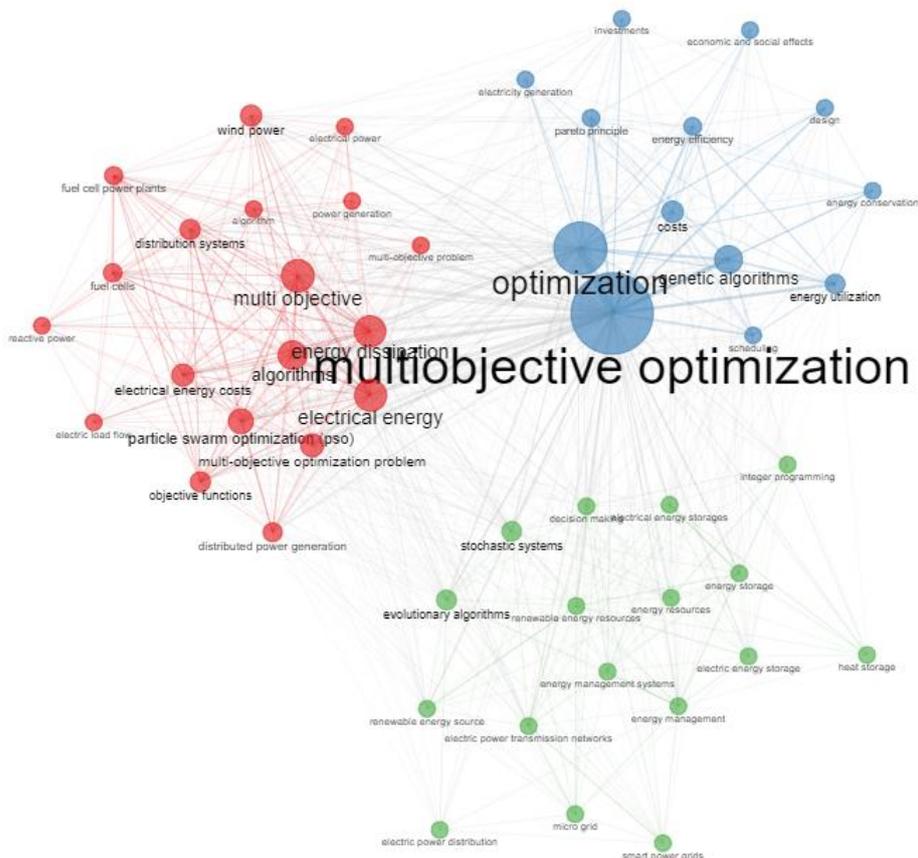


Figura 6. Mapa de coocorrência de palavras chave

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

4.5. Da discursão geral dos artigos revisados

Com base nos dados apresentados nas seções anteriores foram capturados os 292 documentos científicos resultantes, os quais foram analisados e selecionados de acordo com o maior nível de afinidade com os objetivos desse trabalho. Esta análise foi realizada a partir da leitura do título, palavras-chave e resumo de cada documento, desta forma foi possível atingir a marca de 36 artigos relevantes aos temas matriz energética e otimização multiobjetivo.

A metodologia por aderência ao tema foi selecionada devido diversidade de trabalhos no ramo energético, que variam desde de planos específicos, como por exemplo, a otimização de equipamentos geradores de energia elétrica e bancos de baterias, até planos amplos como: planejamento de compra e venda de energia elétrica em redes inteligentes e planejamento energético. Dessa forma foi possível selecionar um nicho específico de trabalho.

Os 36 trabalhos selecionados foram lidos integralmente e uma classificação dos 8 mais aderentes aos temas foi realizada e será apresentada ao decorrer das próximas seções. Os quais do primeiro ao quarto colocados tem alta aderência, os próximos 2 documentos têm média aderência e os 2 últimos têm fraca aderência aos temas.

4.5.1. A PSO-Based Multi-objective Optimization to Satisfy the Electrical Energy Demand Through Renewable Energy Integration: A Case Study

O artigo apresenta um estudo de caso para a otimização demanda de energia elétrica da cidade de Kolhapur na Índia, considerando as fontes geradoras como solar fotovoltaica, energia eólica e micro hidroelétrica como recursos de energia renováveis. Para isso, foi considerado um problema de otimização multiobjetivo desenvolvido e suportado por um algoritmo baseado em PSO (Particle Swarm Optimization). A metodologia desse estudo foi dividido em 6 etapas, sendo elas: (1) coleta de dados meteorológicos e análise do padrão de consumo de eletricidade de Kolhapur; (2) seleção de recursos de energia renovável e modelagem matemática de sistemas de energia renovável; (3) cálculo potencial das fontes de energia e a viabilidade de integração para satisfazer a demanda elétrica; (4) formulação do problema multiobjetivo de demanda elétrica; (5) estudo e seleção de algoritmo e técnica de otimização; e (6) otimização de sistemas integrados de energia renovável para satisfazer a demanda elétrica. Os resultados obtidos apontam que os objetivos econômicos e ambientais foram satisfeitos e que a saída do resultado ótimo 40% da demanda elétrica de Kolhapur pode ser atendida com o sistema de energias renováveis proposto durante todo ano, variando apenas a porcentagem de utilização de cada sistema devido a variação climáticas. (WAGH; KULKARNI, 2020)

4.5.2. Multi-objective analysis of sustainable generation expansion planning based on renewable energy potential: A case study of Bali Province of Indonesia

Este artigo tem como objetivo desenvolver um modelo de planejamento da expansão da geração de energia, a fim de apoiar a tomada de decisão do planejamento do sistema de energia da província de Bali, na Indonésia, levando em consideração os aspectos de sustentabilidade por meio da otimização das fontes de energia renováveis já presentes no sistema. Foi realizada uma análise multiobjetivo de forma que possa fornecer flexibilidade aos tomadores de decisão para determinar as políticas de planejamento da capacidade de geração de energia baseado nos dados do sistema elétrico da província. Considerando os resultados obtidos, dois dos três cenários são considerados mais promissores devidos aos seus custos e impactos gerados, sendo que o cenário 1 resulta no planejamento da capacidade de geração de energia com o menor custo. Porém, o mesmo produz as emissões 56,49% mais altas comparadas ao cenário 3. Já o cenário 3, apesar das baixas emissões, tem um custo 64,96% maior do que o cenário 1. (AL HASIBI, 2021)

4.5.3. Multi-objective Generation Expansion Planning Considering Environmental Criteria

Este documento apresenta o problema de planejamento focado na expansão da geração da Zona Norte até 2030, conhecido como SING (Sistema Interconectado del Norte Grande), o qual faz parte do Sistema Elétrico Nacional (SEN) do Chile. Para isso foi escolhido como método a otimização multiobjetivo considerando a minimização dos custos de investimento e operacionais e as emissões de CO₂ como objetivos gerando, dessa forma, diferentes cenários de análise e quantificar o efeito que as opções podem ter nos processos de tomada de decisão do sistema elétrico nacional no médio prazo.

Os resultados apresentados por cenários mostram que: o cenário 1, que mantém as regras de mercado atuais, teve uma participação majoritária da matriz energética composta por 52,55% de gás natural liquefeito (GNL) e energias renováveis (ER) composta por hidroelétrica, placas

fotovoltaicas, eólica, energia solar de concentração e geotermia. O cenário 2 considerando restrição no fornecimento de GNL, tem 59,62% da sua matriz energética com geração a partir de fontes de carbono e 38,62% de fontes dos sistemas de energia renováveis. O cenário 3 considera a incorporações de usinas termelétricas e apresenta resultados distribuídos em 32,92% da matriz em fontes de GNL, 38,62% em ER e 8,38% em fontes com base em carbono. Por último, o cenário 4, considerando a opção de usinas nucleares, resultou em uma distribuição de 36,62% em ER; 30,37% em GNL; 22,87% nucleares e 8,14% em fontes de carbono. (ACOSTA; CORTES-CARMONA, 2019)

4.5.4. Multiobjective Linear Programming to Determine the Most Suitable Electrical Energy Matrix for Countries: A Case Study at Brazil

O trabalho desenvolveu uma metodologia para determinar a matriz de energia elétrica para o Brasil com a utilização de uma análise de otimização multiobjetivo. O modelo de programação linear multiobjetivo propõe-se a calcular a quantidade de eletricidade que deve ser gerada por cada fonte disponível, considerando sua demanda interna por energia e restrições de capacidade e apresentar os resultados para auxiliar na determinação da matriz energética brasileira entre 2015 até 2030. O trabalho apresentou 4 diferentes soluções e foi selecionado o cenário com menor valor de investimento. Baseado nesse cenário, a matriz energética até 2030 ficou dividida em 54,8% da energia elétrica gerada via hidrelétricas, 37,1%, via termelétricas, 4,6% via usinas eólicas e, em proporções menores a partir de importações, termelétricas nucleares e usinas solares. (DE CASTRO REIS et al., 2019)

4.5.5. Evolutionary Multiobjective Design of an Alternative Energy Supply System

De acordo com os autores Filipič e Lorencin (2012), o artigo propõe uma otimização por Pareto para a potencialização de um sistema alternativo de fornecimento de energia em prédios residenciais considerando critérios conflitantes como investimento, capacidade técnica e requisitos ambientais. Para geração dos resultados foram realizadas duas análises, uma referindo-se à mudança na demanda de energia do edifício e a outra aos custos de investimento alterados. Para o cenário de demanda de energia reduzida, as configurações do sistema de energia resultaram em custos energéticos mais baixos (26.000 euros) quando comparados ao cenário original de 60.000 euros. Já a comparação dos cenários de custo de investimento com o cenário original confirmou que custos de investimento mais baixos apenas reduzem os custos gerais, mas ainda são necessários sistemas auxiliares como geradores a diesel.

4.5.6. Optimal Planning for Satisfying Future Electricity Demands Involving Simultaneously Economic, Emissions, and Water Concerns

O projeto propõe determinar a meta de custo mínimo de um sistema de geração de energia e suas emissões associada fazendo uso da ferramenta de otimização multiobjetivo baseada no método ϵ -constraint, que por sua vez gera diferentes diagramas de Pareto e permite analisar compensações entre os aspectos econômicos e ambientais. Foram selecionadas para esse modelo como função objetivo o valor econômico, que consiste em minimizar o custo total associado à produção de energia. E para atender a demanda, o modelo propõe a utilização de um conjunto de usinas convencionais e usinas de geração limpa. (SERRANO-ARÉVALO; JUÁREZ-GARCÍA; PONCE-ORTEGA, 2020)

4.5.7. A hybrid of ant colony optimization and artificial bee colony algorithm for probabilistic optimal placement and sizing of distributed energy resources

O objetivo principal desse artigo é a otimização de recursos de energia distribuída (DER) para determinar a melhor localização e tamanho de novas fontes de energia considerando minimização da perda de potência, estabilidade na tensão de fornecimento de energia elétrica, minimização da emissão de CO₂ e minimização dos custos. Para isso foi utilizada uma técnica meta-heurística baseada nos comportamentos das formigas chamado de otimização por colônia de formigas. (KEFAYAT; LASHKAR ARA; NABAVI NIAKI, 2015)

4.5.8. Multi-objective pinch analysis for power system planning

Este artigo faz uso de uma variação de da metodologia de *Pinch Analysis* para otimização combinando várias funções objetivo para resolver o problema de planejamento do fornecimento de energia da Índia. Os três objetivos considerados são minimização de custos, minimização da pegada hídrica e minimização do uso das terras, com isso foi gerado um plano ótimo de Pareto contendo essas soluções. Os resultados apresentados demonstram que as soluções variam de acordo com os objetivos configurados, porém a longo prazo, é vista uma o uso de fontes de energias renováveis como eólica, solar, assim como fontes como nucleares. (KRISHNA PRIYA; BANDYOPADHYAY, 2017)

5 Considerações finais

O presente trabalho considerou a análise bibliométrica das bases de periódicos Scopus e *Web of Science* considerando termos que estão ao redor da otimização energética, com objetivo de identificar as principais palavras chave, periódicos mais relevantes e métodos utilizados para otimização energética.

O setor energético é uma área de estudo ampla e com muitos conteúdos em diferentes bases de dados quando pesquisados de forma ampla, porém quando é concentrado o escopo em matrizes energéticas é retornado poucos resultados. Contudo, nota-se a importância e relevância da aplicação do método multiobjetivo no tema matriz energética após análise de contribuição acadêmica de cada país separadamente e o aumento na curva de produção acadêmica ao longo dos últimos dez anos.

Este estudo também foi relevante para identificar outros métodos utilizados pelos autores como algoritmo genético e evolucionários que podem servir como base para estudos futuros. Sugere-se como estudo futuro a análise em um período de tempo maior do que o aplicado, assim como a evolução das palavras chave nesses períodos assim podendo identificar a mudança de métodos aplicados a área de energia.

Referências

- ACOSTA, J. C.; CORTES-CARMONA, M. Multi-objective Generation Expansion Planning Considering Environmental Criteria. [S.l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85081044639&doi=10.1109%2fCHILECON47746.2019.8988107&partnerID=40&md5=6b39bf58502af034e92950b587d04a5f>>. journalAbbreviation: IEEE Chil. Conf. Electr., Electron. Eng., Inf. Commun. Technol., CHILECON.
- AL HASIBI, R. A. Multi-objective analysis of sustainable generation expansion planning based on renewable energy potential: A case study of Bali province of Indonesia. **International Journal of Sustainable Energy Planning and Management**, 2021. v. 31, p. 189–210.
- ALTOÉ, L. *et al.* Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estudos Avançados**, abr. 2017. v. 31, p. 285–297.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, 1 nov. 2017. v. 11, n. 4, p. 959–975.
- BARROS, M.; TOPOROWICZ, F.; BRANCO, F. Modelo de Programação Linear Multiobjetivo aplicado na decisão da melhor região geográfica para a instalação de um empreendimento gastronômico. Ponta Grossa, 6 dez. 2017. p. 9.
- BP. **Statistical Review of World Energy 2020**. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- BROWNBACE, S. *et al.* ENERGY AND THE IRANIAN ECONOMY. 25 jul. 2006. n. 190, p. 65.
- CHANG, J. *et al.* A review on the energy production, consumption, and prospect of renewable energy in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 1 out. 2003. v. 7, n. 5, p. 453–468.
- CHUEKE, G. V.; AMATUCCI, M. O que é bibliometria? Uma introdução ao Fórum. **Internext**, 9 set. 2015. v. 10, n. 2, p. 1–5.
- DE CASTRO REIS, J. *et al.* Multiobjective Linear Programming to Determine the Most Suitable Electrical Energy Matrix for Countries: A Case Study at Brazil. **IEEE Latin America Transactions**, 2019. v. 17, n. 3, p. 426–433.
- DIXON, R. K. *et al.* US energy conservation and efficiency policies: Challenges and opportunities. **Energy Policy**, 1 nov. 2010. v. 38, n. 11, p. 6398–6408.
- FILIPICĀ, B.; LORENCIN, I. Evolutionary multiobjective design of an alternative energy supply system. [S.l.]: [s.n.], 2012. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84866843830&doi=10.1109%2fCEC.2012.6256159&partnerID=40&md5=b3a387871f3395accba294303ce4eae>>. journalAbbreviation: IEEE Congr. Evol. Comput., CEC.

FOUQUET, D. Policy instruments for renewable energy – From a European perspective. **Renewable Energy**, 1 jan. 2013. v. 49, p. 15–18.

GELLER, H. *et al.* Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil. **Energy Policy**, 1 ago. 2004. v. 32, n. 12, p. 1437–1450.

HOSSEINI, S. E. *et al.* A review on green energy potentials in Iran. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 1 nov. 2013. v. 27, p. 533–545.

KEFAYAT, M.; LASHKAR ARA, A.; NABAVI NIAKI, S. A. A hybrid of ant colony optimization and artificial bee colony algorithm for probabilistic optimal placement and sizing of distributed energy resources. **Energy Conversion and Management**, 2015. v. 92, p. 149–161.

KRISHNA PRIYA, G. S.; BANDYOPADHYAY, S. Multi-objective pinch analysis for power system planning. **Applied Energy**, 2017. v. 202, p. 335–347.

LUC, D. T. **Multiobjective Linear Programming: An Introduction**. [S.l.]: Springer International Publishing, 2016.

MUHURI, P. K.; SHUKLA, A. K.; ABRAHAM, A. Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 1 fev. 2019. v. 78, p. 218–235.

OLIVEIRA, J. F. G. De; TRINDADE, T. C. G. World Energy Matrix. *In*: OLIVEIRA, J. F. G. De; TRINDADE, T. C. G. (Org.). **Sustainability Performance Evaluation of Renewable Energy Sources: The Case of Brazil**. Cham: Springer International Publishing, 2018, p. 1–17.

PRITCHARD, A. Statistical Bibliography or Bibliometrics? **Journal of Documentation**, 1969. v. 25, p. 348–349.

SERRANO-ARÉVALO, T. I.; JUÁREZ-GARCÍA, M.; PONCE-ORTEGA, J. M. Optimal Planning for Satisfying Future Electricity Demands Involving Simultaneously Economic, Emissions, and Water Concerns. **Process Integration and Optimization for Sustainability**, 2020. v. 4, n. 4, p. 379–389.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos Avançados**, 2012. v. 26, p. 247–260.

WAGH, M.; KULKARNI, V. **A PSO-Based Multi-objective Optimization to Satisfy the Electrical Energy Demand Through Renewable Energy Integration: A Case Study**. [S.l.]: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2020. p. 121.