

Uma revisão bibliométrica sobre a identificação de cargas similares em Smart Grid

A bibliometric review on identifying similar loads in Smart Grid

Victor Pereira Firmes

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: victormecatronic@gmail.com

Wanderley Cardoso Celeste

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: wanderley.celeste@gmail.com

Recebido: 02/07/2018 – Aceito: 17/07/2018

Resumo

Diante da necessidade de uso consciente dos recursos energéticos para o crescimento sustentável, o conceito *Smart Grid* tem servido de referência para o uso eficiente de tais recursos, sobretudo o elétrico. Entretanto, a aplicação de tal conceito nas instalações elétricas requer o desenvolvimento de dispositivos que permitam o monitoramento autônomo de aparelhos eletroeletrônicos em tais instalações. Este artigo tem como objetivo realizar uma revisão bibliométrica sobre os métodos não-intrusivo de monitoramento de cargas, a fim de mostrar o estado da arte dessa temática, isto é, os principais avanços e entraves para o desenvolvimento dessa tecnologia. É realizada uma análise quantitativa e qualitativa dos trabalhos referentes ao tema buscados via base de dados *Web of Science*. Como resultado de tal investigação, observa-se a relevância dos estudos nessa área, que está em pleno crescimento. Cita-se ainda o fato de o tema estar sendo investigado tanto em países desenvolvidos, como Canadá e Estados Unidos, quanto em países em desenvolvimento, como Malásia e Índia, o que mostra que existe uma preocupação mundial em se avançar em tal problema que independe da situação econômica da nação.

Palavras-chave: Identificação de cargas; Cargas similares; Rede inteligente; Monitoramento de carga não-intrusivo.

Abstract

In light of the need to consciously use energy resources for sustainable growth, the smart grid concept has served as a reference for the efficient use of such resources, especially the electric. However, the application of such concept in electrical installations requires the development of devices that allow the autonomous monitoring of electrical and electronic

appliances in such installations. This article aims to carry out a bibliometric review on non-intrusive load monitoring methods to show the state of the art of this subject, that is, the main advances and obstacles to the development of this technology. A quantitative and qualitative analysis of the works related to the theme searched through the Web of Science database is performed. As result of such research, it is cited the observance of the relevance of the studies in this area, which is in full growth. It is also mentioned the fact that the theme is being investigated in developed countries, like Canada and the United States, as well as in developing countries, like Malaysia and India, which shows that there is a global concern in advancing in such a problem that independent of the nation's economic situation.

Keywords: Load Identification; Similar loads; Smart grid; Non-Intrusive Load Monitoring.

1. Introdução

Assinatura de carga é um conjunto de características que permite identificar de forma unívoca cada aparelho eletroeletrônico em uma instalação elétrica. Algumas grandezas básicas, como consumo de energia, forma de onda de corrente e harmônicos, podem ser definidas como assinaturas de carga. Através dessas características, é possível reconhecer a carga e prever sua demanda e impacto no sistema de potência (Lam *et al.*, 2007).

Há duas maneiras para analisar uma assinatura de carga: pelo monitoramento intrusivo (*ILM - Intrusive Load Monitoring*) ou pelo não intrusivo (*NILM – Non-Intrusive Load Monitoring*). No primeiro, é instalado um medidor em cada carga individual e o monitoramento dos dispositivos é realizado de maneira remota, requerendo uma infraestrutura cujo custo aumenta a cada novo dispositivo introduzido na instalação sob monitoramento. Já no segundo, o monitoramento é feito por um único dispositivo de medição conectado a um único ponto da rede elétrica (normalmente o ramal de entrada da instalação elétrica), que disponibiliza os dados da medição para um sistema de identificação (Rayudu *et al.*, 2011).

Essa temática da identificação de cargas originou-se nos EUA na década de 1980 (Hart, 1984) e teve como finalidade a reunião de dados do uso final da eletricidade. Nos anos 90 tiveram mais estudos sobre o assunto em questão naquele país, com destaque para (Hart, 1992), onde foi realizada uma análise de tensão e corrente da carga total, obtida via medidor de potência.

Na França também foi feita uma análise não intrusiva, através do medidor de energia, utilizando os sinais de tensão e corrente, e tendo como parâmetros a potência ativa, reativa e aparente (Sultanem, 1991).

Figura 1 – Fluxograma da metodologia empregada para levantamento bibliométrico

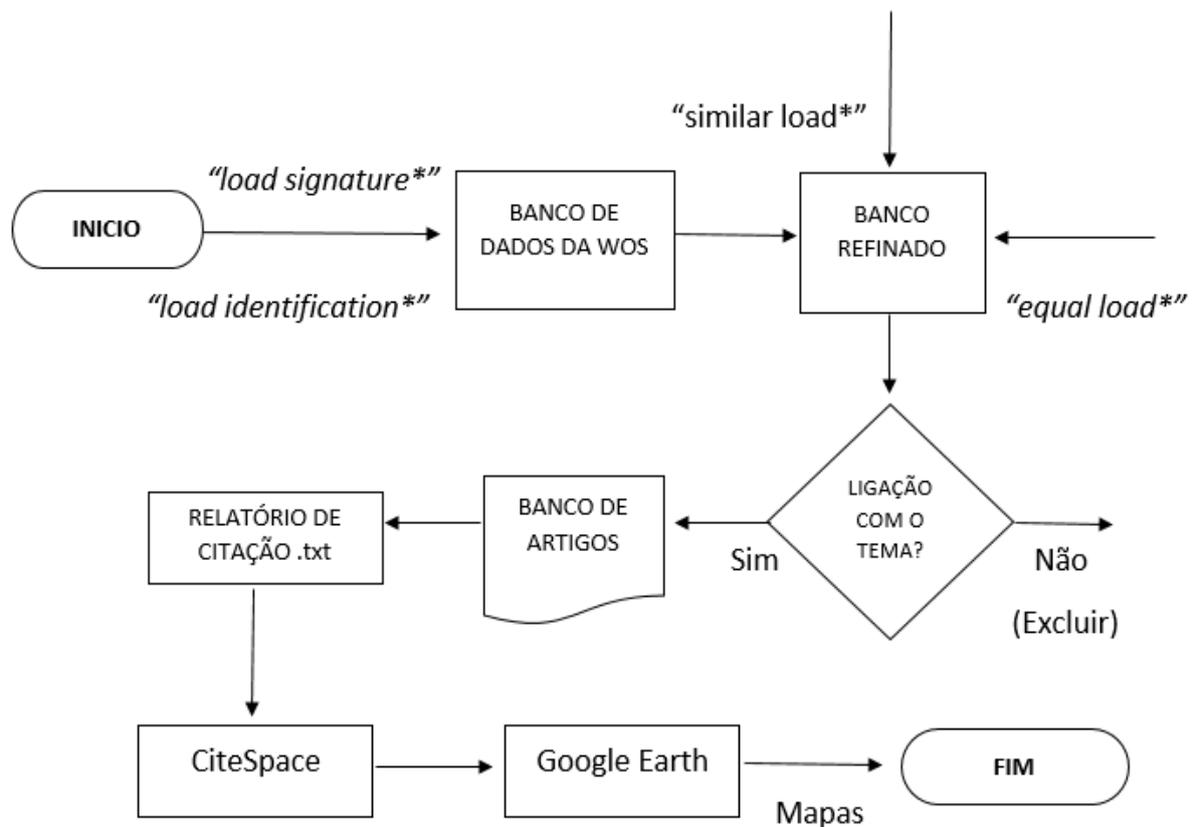
Com o advento das *Smart Grids*, surgiu a necessidade de monitoramento da rede elétrica e do diagnóstico das diversas cargas conectadas. Em residências, indústrias e comércios, existe uma diversidade de cargas ligadas, as quais, por hipótese, possuem um conjunto de características específicas ainda não totalmente compreendido, que funcionam como assinatura. A natureza das cargas e as características dos conversores de energia que fazem interface com a rede influenciam a atuação dessas impressões (Calamero *et al.*, 2015).

Quanto à classificação das cargas, elas podem ter diferentes graus de similaridade, de modo que duas cargas podem ter desde um grau de similaridade mínimo (completamente distintas) a um grau de similaridade máximo (completamente idênticas). Entretanto, por hipótese aqui levantada, o grau de similaridade é função do conjunto de características usadas no processo de composição das assinaturas, de modo que, para cada problema de cargas altamente similares, se supõe possível a busca de um novo conjunto de características que reduza o grau de similaridade, tornando o processo de identificação menos custoso, mais preciso e mais robusto.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliométrica sobre os métodos de identificação de cargas similares através do monitoramento não intrusivo, apresentando um panorama dessa temática a partir do estado da arte levantado, isto é, quais são os avanços e principais entraves no desenvolvimento dessa tecnologia.

2. Metodologia

O trabalho de revisão bibliométrica aqui apresentado usa como ferramenta de obtenção das informações necessárias a base de dados *Web of Science*® (*WOS*). A pesquisa na referida base de dados leva em consideração palavras-chave sabidamente empregadas na literatura, as quais são os termos básicos relacionados ao tema de interesse. Neste trabalho usam-se os termos “*load signature**” e “*load identification*”, conforme mostrado na Figura 1. A *WOS* permite o uso do caractere (*) para considerar inclusive a variação no plural do termo buscado; permite ainda o uso das aspas duplas (“_”), a fim de garantir o retorno das ocorrências contendo todas as palavras no termo delimitado pelas aspas duplas, e na exata ordem apresentada.



Fonte: Os autores.

Observa-se no fluxograma da Figura 1, o chamado Banco de Dados da WOS, sobre o qual é realizada a primeira etapa de buscas, dando origem ao chamado Banco Refinado de Artigos. A partir do Banco Refinado de artigos, é então realizado um refinamento com a introdução de termos que especificam ainda mais os termos básicos inicialmente usados. Neste trabalho são usados os termos “*similar load**” e “*equal load**” para especificar ainda mais o tema buscado. Como pode ser visto na Figura 1, é realizada uma seleção de artigos a partir do alinhamento ou não alinhamento do trabalho encontrado com o tema pesquisado. Logo, os artigos que não têm ligação com o tema sob investigação são descartados, enquanto que os demais passam a compor o Banco de Artigos de interesse.

A partir do WOS é gerado um arquivo no formato txt (vide Figura 1) com algumas informações extraídas de cada artigo do Banco montado como autores, título, fonte, resumo, referências citadas, número de publicações, palavras-chaves, área de pesquisa, dentre outras. Com o WOS é gerado ainda um Relatório de citação sobre o Banco de artigos montado, contendo o número de citações, o total de publicações por ano, os países de origem das publicações e a quantidade de artigos por país de origem.

Em seguida, é usado o software *CiteSpace*® 5.2.R2 (64-bit) (observe o bloco Citespace na Figura 1) que, a partir do arquivo txt, gera a rede de autores dos trabalhos contidos no Banco de Artigos montado. Em seguida, usa-se a ferramenta *Geographical* para a criação de mapas de relacionamento do *Google Earth*®, que gera mapas contendo a localização dos autores e de seus respectivos grupos de pesquisa ao redor do mundo, bem como as relações entre eles.

3. Resultados e discussão

É apresentado na Subseção 3.1 o Banco de Artigos resultante da aplicação da metodologia apresentada na Seção 2, enquanto que na Subseção 3.2 são apresentadas algumas análises realizadas a partir do levantamento bibliométrico realizando. Por fim, na Subseção 3.3 são descritas de forma sucinta as principais observações feitas pelos autores nos 11 artigos contidos no Banco de Artigos aqui montado.

3.1 Banco de Artigos

Ao realizar a busca pelo termo “*load signature**”, deixando o tempo mais abrangente possível na base de dados WOS (1945-2018) e limitando a busca a apenas artigos científicos, foram encontrados um total de 43 artigos, que foram incluídos no Banco de Dados da WOS. Em seguida, buscou-se pela palavra “*load identification**”, onde se chegou a um total de 236 artigos, que também foram incluídos no Banco de Dados.

Para refinar a pesquisa, usaram-se as palavras “*similar load**” e “*equal load**” sobre o Banco de Dados extenso montado, o que o universo de artigos de interesse fosse restringido a apenas 23, o qual passaram a compor o chamado Banco Refinado (vide Figura 1).

Na sequência, usou-se a ferramenta do WOS para gerar o arquivo txt a partir do Banco de Artigos. Tal arquivo contém, dentre outras informações, o resumo de cada um dos artigos que compõe o banco. Analisando tais resumos, nota-se que 12 artigos não dão o enfoque esperado no tema de identificação de cargas similares, sendo, portanto, descartados do Banco de Artigos. Logo, os artigos mantidos no Banco de Artigos são listados na Tabela 1, contendo o título dos trabalhos e os respectivos autores.

Tabela 1 – Artigos contidos no Banco de Artigos

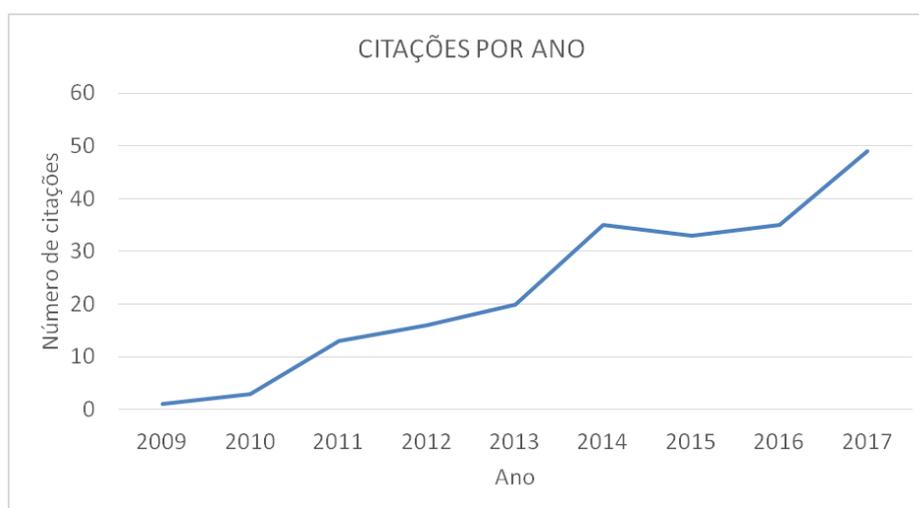
TÍTULO	AUTORES
A novel method to construct taxonomy electrical appliances based on load signaturesof	Lam <i>et al.</i> (2007)
Harmonic load identification using complex independent component analysis	Gursoy e Niebur (2009)
A load identification method for residential building applications	Gonzales <i>et al.</i> (2012)
Front-end electronic circuit topology analysis for model-driven classification and monitoring of appliance loads in smart buildings	He <i>et al.</i> (2012)
An empirical investigation of vi trajectory based load signatures for non-intrusive load monitoring	Hassan <i>et al.</i> (2014)
An efficient and inexpensive method for activity recognition within a smart home based on load signatures of appliances	Belley <i>et al.</i> (2014)
Load decomposition at smart meters level using eigenloads approach	Ahmandi e Marti (2015)
Residential load signature analysis for their segregation using waveletsvm	Singh <i>et al.</i> (2015)
Defining the unique signatures of loads using the currents a physical components theory and z-transform	Calamero <i>et al.</i> (2015)
A review disaggregation method in non-intrusive appliance load monitoring	Esa <i>et al.</i> (2016)
Comprehensive feature selection for appliance classification in nilm	Sadeghianpoourhamani <i>et al.</i> (2017)

Fonte: Os autores

3.2 Análise do Banco de Artigos

O gráfico da Figura 2 é obtido a partir de dados do Banco de Artigos montado, onde através do WOS foi gerado o relatório de citações. Pode-se observar no gráfico que as citações sobre os trabalhos listados na Tabela 1 deram início no ano de 2009 e têm ganhado volume a partir de então, o que mostra que a discussão sobre o problema específico envolvendo identificação de cargas similares é bastante recente e está aumentando cada vez mais.

Figura 2 - Número de citações por ano

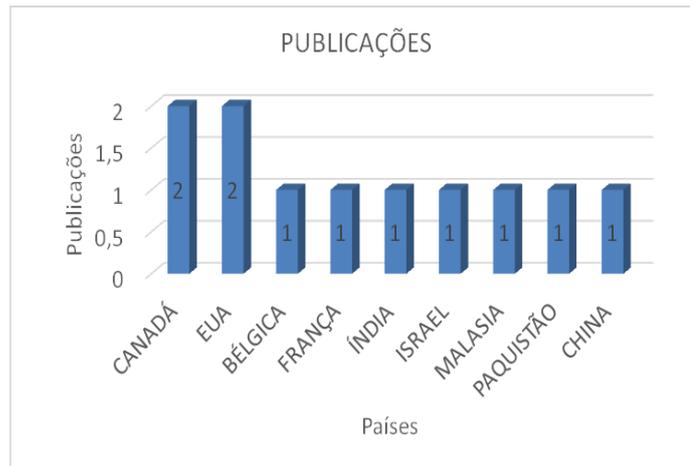


Fonte: Os autores

O valor do *h-index* (ou índice h), que mostra uma contagem da lista de publicações em ordem decrescente pela contagem do número de citações para a pesquisa foi de $h=6$. Isso quer dizer que existem 6 artigos que receberam 6 ou mais citações no período. Essa métrica é aceita no meio científico, pois ela desconta o peso da discrepância de artigos que foram muitos citados por artigos que ainda não foram citados.

A Figura 3 mostra um gráfico do número de publicações do Banco de Artigos montado por país de produção. Observa-se que os 11 artigos contidos no referido banco foram originados em 9 países distintos, o que mostra uma distribuição uniforme de tais produções. Além disso, no gráfico observa-se a presença de nações desenvolvidas economicamente, como Canadá, França e EUA, bem como nações em desenvolvimento como Índia, China e Malásia, o que mostra que o problema não é uma preocupação exclusiva de nações ricas.

Figura 3 – Número de publicações por países.

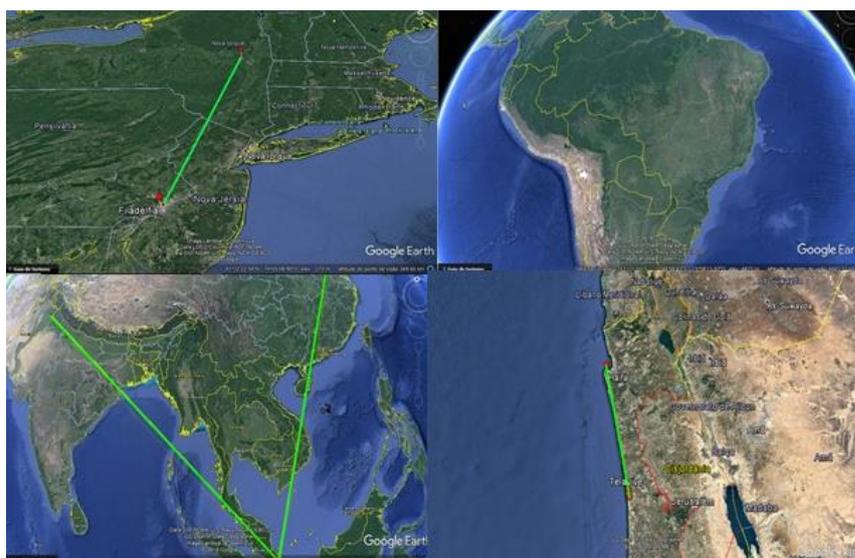


Fonte: Os autores

Outra informação interessante obtida a partir da ferramenta WOS é que 54,5% dos trabalhos contidos no Banco de Artigos montado foram gerados por pesquisadores da área de Engenharia Elétrica e Eletrônica, a qual está diretamente relacionada a desenvolvimentos tecnológicos.

Através dos mapas gerados no *Google Earth* (Figura 4), é possível observar as inter-relações entre os pesquisadores envolvidos com o tema específico de identificação de cargas similares. Conforme pode ser visto nos mapas da referida figura, nos EUA e em Israel há grupos de pesquisa de diferentes localidades daqueles países que se relacionam. Há também um grupo representado pelo Paquistão, China e Cingapura que trabalharam conjuntamente no tema em questão. Por outro lado, no Brasil e na América Latina em geral não há ainda ocorrências de publicações referentes ao tema pesquisado.

Figura 4 – Grupos de pesquisa no mundo



Fontes: Os autores, Adaptado Google Earth (2018).

3.3 O que dizem os autores?

Para Lam *et al.* (2007) as assinaturas de cargas podem ser utilizadas para construir muitos produtos e serviços como quantificar o uso de energia de cada equipamento, monitorar remotamente a integridade de equipamentos, analisar a qualidade da energia e desenvolver soluções para o gerenciamento de energia. Em seu estudo, os autores desenvolveram um método de classificação de cargas usando a trajetória de corrente e tensão como característica. A partir daí, construíram um banco de dados e compararam os resultados obtidos com outros resultados baseados em métricas de potência tradicionais e em auto-vetores, de onde puderam mostrar que o seu método apresentava um melhor desempenho.

Gursoy e Niebur (2009) destacaram que, devido ao aumento no número de equipamentos elétricos de potência e outras fontes harmônicas, a identificação das cargas harmônicas é um problema nos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica. Eles pesquisaram sobre a técnica de processamento de sinais através da estatística para identificação das cargas. Nessa técnica, é possível estimar valores de tensão harmônica sem conhecer o sistema.

Já Gonzales *et al.* (2012) apresentaram uma abordagem para identificação de cargas em aplicações domésticas. Ela foi realizada de maneira não intrusiva, usando-se sinais que se propagam no painel de medição de eletricidade de um edifício. Através da detecção das transições *on-off* da potência ativa, nível de potência, a hora de acionamento e desligamento, o ciclo de serviço e o consumo de energia, os autores acreditavam que era possível a identificação. Logo, os autores implementaram um algoritmo que foi capaz de identificar cargas em até 90%, porém somente para cargas com transições *on-off*, que possuem níveis de potência de ativação e desativação iguais. Para cargas com variações contínuas de potências, onde há uma coincidência entre a ligação e o desligamento, o algoritmo implementado não foi capaz de obter êxito na identificação de carga.

He *et al.* (2012) mostraram em seu trabalho uma abordagem não-intrusiva para aplicação em edifícios inteligentes. No seu modelo, é utilizada uma estrutura que se baseia em um conhecimento prévio da carga, incluindo a identificação do circuito da fonte de alimentação *front-end*, princípio de operação elétrica e a utilização do cliente. Assim, é proposta uma taxonomia através da eletrônica de potência para garantir a representação das cargas elétricas reais. Os autores concluíram que o modelo por eles proposto mostrou ser uma solução simples e mais viável na identificação de cargas similares.

Hassan *et al.* (2014) avaliaram as assinaturas de cargas através das formas de onda de tensão e corrente (V-I) para, de maneira precisa e através de algoritmos, classificar cargas de

aparelhos residenciais. Eles concluíram que o conjunto de vários algoritmos de classificação oferece precisão, robustez e confiabilidade melhor do que comparadas as assinaturas de cargas dinâmicas, ruidosas ou altamente similares.

Belley *et al.* (2014) destacaram que, apesar da crescente demanda na utilização do monitoramento não-intrusivo de cargas e o constante lançamento de medidores inteligentes para a extração das assinaturas de cargas, o *hardware* de tais medidores ainda apresenta um custo muito elevado e pouca acessibilidade. Além disso, as aplicações para tais sistemas medidores são ainda dedicadas para apenas a redução do custo de consumo e a economia de energia. Eles propuseram um novo método baseado no reconhecimento de usuários com pouca autonomia de energia, onde a assinatura de carga é extraída em um espaço tridimensional através de um único analisador de potência não-intrusivo. Os autores realizaram diversos testes em um protótipo de laboratório e, apesar do pouco investimento e quantidade de dados limitada, o método conseguiu reconhecer o uso de equipamentos com alta precisão e baixo custo.

Ahmadi e Marti (2015) apontam a estrutura de medição avançada (AMI) como uma oportunidade para o monitoramento de carga. Assim, as formas de onda de tensão e corrente são processadas e compiladas em uma biblioteca que contem medições projetadas no espaço de autovalores (*Eigenloads*) das assinaturas de cargas. Assim, de acordo com os autores, o método pode ser implantado em medidores inteligentes e a computação distribuída poderá realizar simples cálculos em cada medidor sem a necessidade de ter bancos de dados e um processador central.

Singh *et al.* (2015) destacaram a dificuldade em identificar cargas similares no uso doméstico. Eles utilizaram coeficientes de *wavelet*, que são dados de entrada para um classificador de cargas. Os autores consideraram diversos algoritmos de classificação e os compararam, chegando à conclusão de que a máquina de vetor suporte (*SVM*) funcionou melhor para a identificação de cargas similares.

Calamero *et al.* (2015) apresentaram um método para extrair recursos de formas de onda de cargas não lineares. Esse método é baseado na teoria de transporte de energia elétrica de componentes físicos, das correntes combinadas com transformada Z. As funções de transferência são utilizadas para refletir os dados elétricos e, como consequência, a identificação das cargas.

Esa *et al.* (2016) mencionaram que, ao invés de utilizar o monitoramento intrusivo que requer um sensor para cada dispositivo, muitos estudos estão usando o monitoramento não-

intrusivo. Este é mais barato e desagrega os dados de cargas. Os autores apresentam diversos tipos de desagregação, bem como os algoritmos para identificação das cargas.

Sadeghianpourhamami *et al.* (2017) afirmaram que, apesar de diversos trabalhos publicados na literatura, a maioria não teve grandes avanços. Assim, eles propuseram uma eliminação de características que não são importantes para identificação de cargas e criaram um conjunto de dados que pode ser usado para comparação.

4. Conclusão

Este artigo buscou contribuir com uma revisão e análise da literatura sobre identificação de cargas similares. Para isso, aplicou-se uma metodologia baseada em bibliometria, o que permitiu a montagem de um banco de artigos composto de 11 trabalhos realizados em diferentes localizações do globo terrestre. Espera-se que o trabalho aqui apresentado seja útil para pesquisadores que se interessem em resolver o problema de identificação de cargas similares no sentido de fixar um ponto de referência para a realização das investigações.

Através da revisão bibliométrica realizada no *Web of Science*, foi possível verificar que há um crescimento na produção científica a respeito do tema. Mas, pela análise quantitativa e qualitativa realizada, constatou-se que, apesar da assinatura de carga ser um assunto explorado, a identificação de cargas similares ainda é um problema a ser solucionado. Sendo assim, com os artigos selecionados, chegou-se ao estado da arte sobre a problemática e que o monitoramento não-intrusivo é o ponto de partida para quase todos os trabalhos até então realizados.

Diante do exposto, sugere-se a realização de trabalhos que foquem na busca por características que possam servir de assinatura de cargas enquadradas como similares, a fim de permitir a implementação de sistemas de identificação autônomo de equipamentos que sejam precisos e robustos.

Referências

AHMADI, H.; MARTÍ, J. R. Load Decomposition at Smart Meters Level Using Eigenloads Approach. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 30, n. 6, p. 3425-3436, 2015.

BELLEY, C.; GABOURY, S.; BOUCHARD, B.; BOUZOUANE, A. An efficient and inexpensive method for activity recognition within a smart home based on load signatures of appliances. *Pervasive and Mobile Computing*. v. 12, p. 58-78, 2014.

CALAMERO, N.; BECK, Y.; SHMILOVITZ, D. Defining the Unique Signatures of Load Using the Currents' Physical Components Theory and Z-Transform. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 11, n. 1, p. 155-165, 2015.

ESA, N. F.; ABDULLAH, Md. P.; HASSAN, M. Y. A review disaggregation method in Non-intrusive Appliance Load Monitoring. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. V. 66, p. 163-173, 2016.

GONZÁLEZ, M.; DEBUSSCHÈRE, V.; BACHA, SEDDIK. A Load Identification Method for Residential Building Applications. *Industrial Technology, IEEE International Conference*. p.84-88, 2012.

GURSOY, E.; NIEBUR, D. Harmonic Load Identification Using Complex Independent Component Analysis. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 24, n. 1, p. 285-292, 2009.

HART, G. W. Nonintrusive Appliance Load Data Acquisition Method: Progress Report. *MIT Energy Laboratory*, 1984.

HART, G. W. Nonintrusive appliance load monitoring. *Proceedings of the IEEE*, v. 80, n. 12, p. 1870-1891, 1992.

HASSAN, T.; JAVED, F.; ARSHAD, N.; An Empirical Investigation of V-I Trajectory based Load Signatures for Non-Intrusive Load Monitoring. *IEEE Transactions on Smart Grid*, v. 5, n. 2, p. 870-878, 2014.

HE, D.; DU, L.; YANG, Y.; HARLEY, R.; HABETLER, T. Front-End Electronic Circuit Topology Analysis for Model-Driven Classification and Monitoring of Appliance Loads in Smart Buildings. *IEEE Transactions on Smart Grid*. v. 3, n. 4, p. 2286-2293, 2012.

LAM, H. Y.; FUNG, G. S. K; LEE, W. K. A novel method to construct taxonomy electrical appliances based on load signatures. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, v. 53, n. 2, 2007.

RAYUDU, R. K.; TYLER, C.; WITHERDEN, M. S. Towards a tool for non-intrusive individual load measurement and identification. *Innovative Smart Grid Technologies Asia, IEEE PES*, p. 1-8, 2011.

SADEGHIANPOURHAMAMI, N.; RUYSSINCK, J.; DESCHRIJVER, D; DHAENE, T.; DEVELDER, C. Comprehensive features selection for appliance classification in NILM. *Energy and Building*, v. 151, p. 98-106, 2017

SINGH, M.; KUMAR, S.; SEMWAL, S.; PRASAD, R. S. Residential Load Signature Analysis for Their Segregation Using Wavelet—SVM. *Power Electronics and Renewable Energy Systems*, v. 326, pp. 863-871, 2015.

SULTANEM, F. Using appliance signatures for monitoring residential loads at meter panel level. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 6, n. 4, p. 1380-1385, 1991.