

**Aplicação da reflectometria na identificação de cargas elétricas similares: uma análise bibliométrica**

**Application of reflectometry in the identification of similar electrical loads: a bibliometric analysis**

**Aplicación de la reflexión en la identificación de cargas eléctricas similares: un análisis bibliométrico**

**André Silva**

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: [andre.nazaro@gmail.com](mailto:andre.nazaro@gmail.com)

**Wanderley Cardoso Celeste**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1121-937X>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: [wanderley.celeste@ufes.com.br](mailto:wanderley.celeste@ufes.com.br)

Recebido: 13/07/2018 – Aceito: 20/08/2018

**Resumo**

A energia é um bem essencial para o desenvolvimento, e seu uso racional é necessário para minimizar os impactos e custos ambientais. O monitoramento de carga tem um papel muito importante nesse contexto, pois é necessário saber quais dispositivos estão consumindo a energia elétrica, quanto, e em que momento ela é consumida. O objetivo deste artigo é o de realizar uma pesquisa bibliométrica para análise qualitativa e quantitativa sobre a identificação de cargas, especialmente as altamente similares, inclusive através do uso da reflectometria nesse processo. Nas análises feitas neste trabalho, constata-se que a China é o país com o maior número de publicações, seguido pelos Estados Unidos. Observa-se ainda um recente aumento nas publicações sobre identificação de carga, demonstrando que o tema tem ganhado cada vez mais relevância no cenário mundial.

**Palavras-chave:** Identificação de cargas, reflectometria, cargas similares, análise bibliométrica.

**Abstract**

Energy is an essential good for development, and its rational use is necessary to minimize environmental impacts and costs. Load monitoring has a very important role in this context, because it

is necessary to know which devices are consuming the electric energy, how much, and at which moment it is consumed. The objective of this article is to perform a bibliometric research for qualitative and quantitative analysis on the identification of loads, especially the highly similar ones, including through of the use of reflectometry in this process. In the analyzes made in this work, it is verified that China is the country with the largest number of publications, followed by the United States. There is also a recent increase in publications on load identification, demonstrating that the topic has gained increasing relevance in the world scenario.

**Keywords:** Identification of loads, reflectometry, similar loads, bibliometric analysis.

## **Resumen**

La energía es un bien esencial para el desarrollo, y su uso racional es necesario para minimizar los impactos y costos ambientales. El monitoreo de carga tiene un papel muy importante en este contexto, pues es necesario saber qué dispositivos están consumiendo la energía eléctrica, cuánto, y en qué momento se consume. El objetivo de este artículo es el de realizar una investigación bibliométrica para análisis cualitativo y cuantitativo sobre la identificación de cargas, especialmente las altamente similares, incluso a través del uso de la reflexión en ese proceso. En los análisis realizados en este trabajo, se constata que China es el país con el mayor número de publicaciones, seguido por Estados Unidos. Se observa un reciente aumento en las publicaciones sobre identificación de carga, demostrando que el tema ha ganado cada vez más relevancia en el escenario mundial.

**Palabras clave:** Identificación de cargas, reflectometría, cargas similares, análisis bibliométrico.

## **1. Introdução**

A energia é um bem essencial ao desenvolvimento. O consumo de energia de uma população está diretamente ligado ao seu nível de desenvolvimento. Segundo (GOLDEMBERG, 1998), vários indicadores sociais estão relacionados com o consumo de energia, como a expectativa de vida, mortalidade infantil, analfabetismo e taxa de fertilidade (nascimentos). Esses indicadores melhoram com o aumento do consumo de energia, ou seja, nos países considerados desenvolvidos, o consumo de energia é maior do que nos países considerados em desenvolvimento. Portanto, para o desenvolvimento de um país, é necessário um aumento na produção e utilização de energia.

O consumo de energia deve ser aumentado, porém de forma racional, pois os recursos

energéticos são limitados. Deve ser objetivado um uso eficiente da energia, pois, desta forma, é possível utilizar uma menor quantidade de recursos para produzir um trabalho desejado. Utilizando a energia de forma mais eficiente é possível reduzir o consumo de energia e, conseqüentemente, diminuir a emissão de gases do efeito estufa (MARDOOKHY *et al.*, 2014).

Segundo (JANNUZZI, 2002), a redução do consumo de energia elétrica contribui para aumentar a confiabilidade do sistema elétrico, postergar a necessidade de investimento, reduzir impactos ambientais e reduzir custos de energia para o consumidor final.

*Smart Grid* (rede inteligente) é um conceito de rede de energia elétrica que gerencia os recursos de geração e os equipamentos de consumo, com o objetivo de alinhar a oferta e a demanda de energia, melhorando, dentre outras características, a eficiência do sistema. A *Smart Grid* pode melhorar várias características do sistema elétrico como confiabilidade, segurança, e eficiência, além de acrescentar funcionalidades como integração de geração distribuída bidirecional (ao invés de unidirecional), resposta da demanda (mudança do comportamento do consumo), automatização da distribuição e medição, aparelhos de consumo inteligentes, e armazenamento de energia elétrica e térmica para diminuição do pico de demanda (TUBALLA; ABUNDO, 2016).

Para gerenciar o consumo de energia elétrica da rede é necessária a identificação de quais cargas ou equipamentos estão ligados. Para isso, existem dois métodos: o *ILM* (*Intrusive Load Monitoring*) e o *NILM* (*Non-Intrusive Load Monitoring*). No método intrusivo é utilizado um sensor em cada carga ou equipamento que se quer monitorar. Este método é complexo e pouco prático, pois necessita de muitos sensores, e a cada novo equipamento deve ser instalado um novo sensor. No método não intrusivo é utilizado um único medidor que monitora todas as cargas a partir de um único ponto de medição. Neste método, os sinais de tensão e corrente são medidos. De tais sinais são extraídas características que permitam a identificação unívoca da carga. As características extraídas são usadas para o treinamento e classificação de sistemas de identificação autônomo (ABUBAKAR *et al.*, 2017).

A identificação de cargas com baixo grau de similaridade têm sido amplamente retratadas na literatura, com resultados satisfatórios, o que não é verdadeiro quando se remete a cargas com alto grau de similaridade. Tal fato está ligado ao considerável aumento da complexidade e robustez do sistema de identificação autônomo à medida que as cargas a serem desagregadas se tornam cada vez mais similares (ou cada vez mais parecidas eletricamente). Para resolver este problema, faz-se necessário lançar mão de mais características a fim de compor uma assinatura de carga que seja realmente única. Neste

sentido, deseja-se verificar a possibilidade de uso da reflectometria no domínio do tempo (*TDR*), já amplamente utilizada para identificação de falhas em linhas de transmissão. A reflectometria é uma técnica considerada ativa, pois injeta um pulso de tensão na rede e monitora sua reflexão, ao contrário da *ILM* e *NILM* tradicionais que apenas observam e registram o que se passa na rede elétrica.

O objetivo deste trabalho é o de apresentar uma análise bibliométrica sobre a identificação de cargas elétricas, em especial cargas altamente similares, bem como do uso da reflectometria como ferramenta de obtenção de novas características para a composição da assinatura de carga.

## 2. Metodologia

A metodologia empregada é ilustrada no fluxograma da Figura 1. Observa-se que tal metodologia se baseia em duas pesquisas realizadas sobre o banco de dados *Web of Science*, sendo uma sobre identificação de cargas e outra sobre reflectometria. Na pesquisa sobre identificação de cargas foram utilizadas as palavras-chave: “*non intrusive load identification*”; “*non intrusive load monitoring*”; “*load signature*”; “*load identification*”; “*nilm load identification*”; “*nilm load disaggregation*”. Os resultados das pesquisas foram combinados com a função OR para gerar o banco de artigos da etapa 1. Neste banco foi realizada uma análise do número de publicações por ano e da nacionalidade de todos os artigos entre os anos de publicação 2014 e 2018, gerando o banco da etapa 2. Deste banco foram escolhidos os 8 artigos mais citados por ano, alinhados com o tema, para gerar o banco de identificação de cargas da etapa 3 (artigos para leitura e seleção).

Voltando ao banco da etapa 1, este foi filtrado pelas palavras-chave: “*similar load\**”; “*similar signature\**”; “*equal load\**”; “*identical load\**”. Os resultados combinados utilizando a função OR para atualizar o banco de cargas similares da etapa 3.

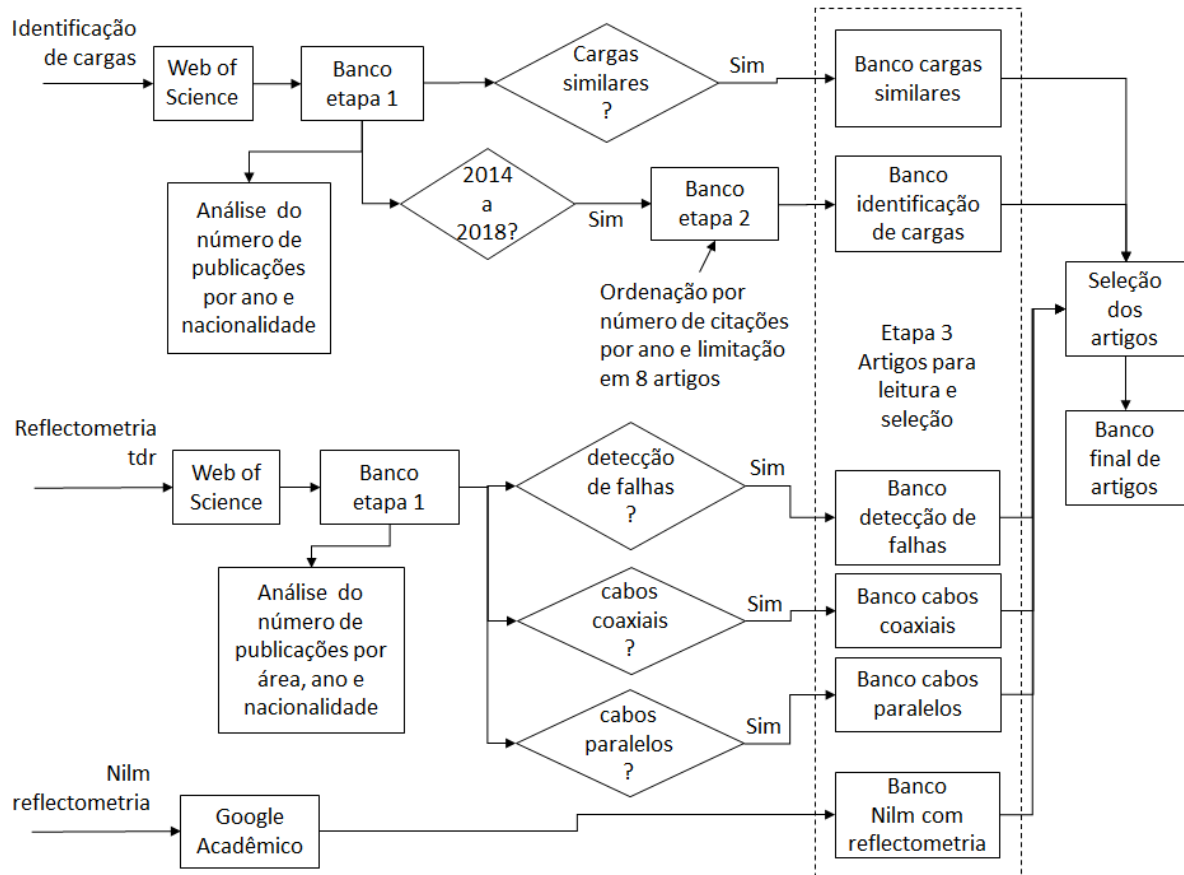
A pesquisa sobre reflectometria foi feita utilizando as palavras chave - *reflectometry tdr* - para gerar o banco de artigos da etapa 1. Os artigos deste banco foram analisados quanto ao número de publicações por área de pesquisa, ano de publicação e país. Este banco foi refinado para gerar bancos relacionados com os assuntos como detecção de falhas, cabos coaxiais e cabos paralelos. Foram utilizadas as palavras-chave *fault finding* e *fault detection* para detecção de falhas, “*coaxial cable\**” para cabos coaxiais, e “*parallel cable\**”; *parallel cable\**; “*bifilar cable\**” e *bifilar cable\** para cabos paralelos. Os resultados de cada assunto foram combinados com a função OR para formar o banco de artigos de detecção de falhas,

cabos coaxiais e cabos paralelos, que fazem parte da etapa 3.

A metodologia inclui também uma pesquisa no google acadêmico com as palavras-chave *nilm reflectometry*, contribuindo com o banco de artigos na etapa 3.

Os artigos relacionados na etapa 3 para identificação de cargas foram todos selecionados para o banco final, enquanto os da reflectometria foram ordenados pelo número de citações e depois pela leitura do resumo para serem incluídos no banco final de artigos.

Figura 1 – Fluxograma do processo de seleção dos artigos sobre identificação de cargas.

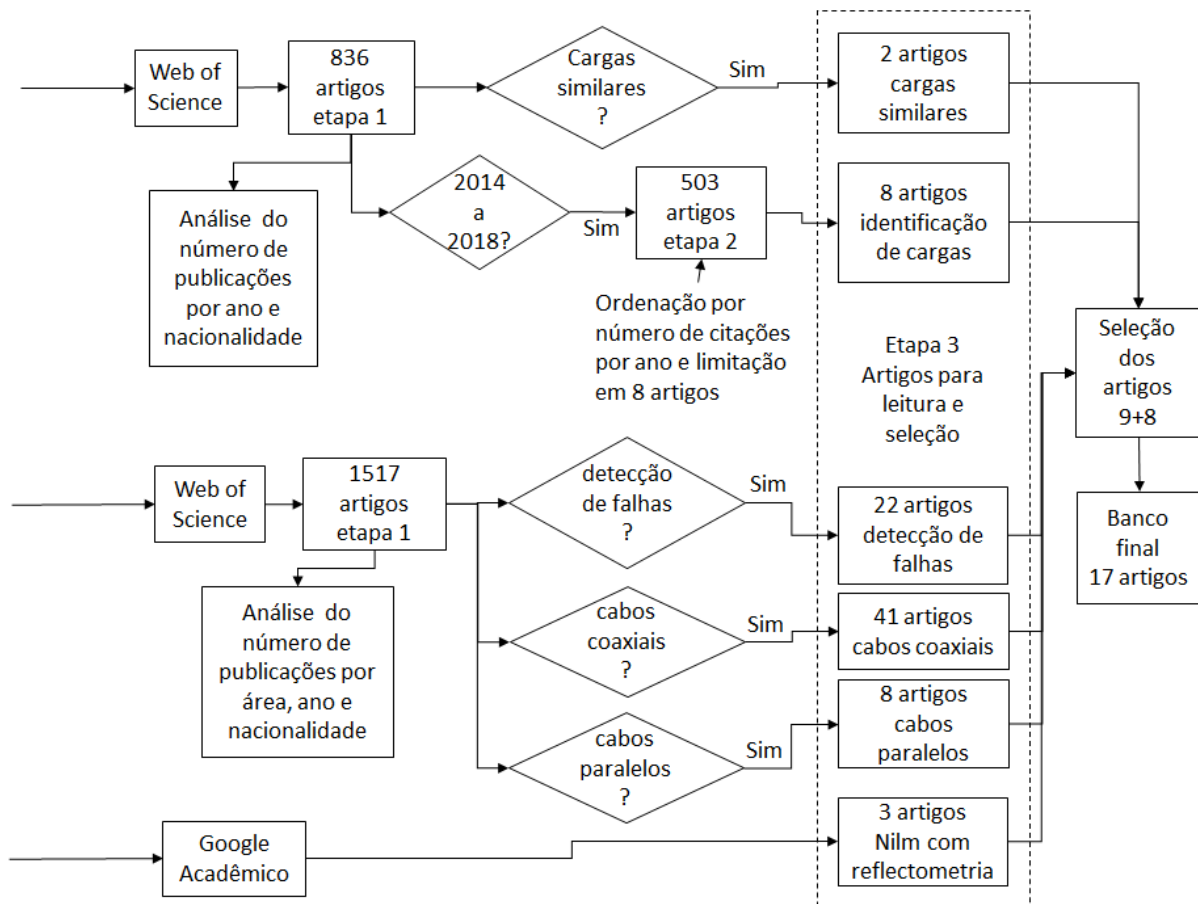


Fonte: Elaboração própria.

### 3. Resultados e Discussão

A quantidade de artigos encontrados em cada etapa das pesquisas sobre identificação de cargas e reflectometria é mostrada na Figura 2.

Figura 2 – Número de artigos retornados em cada etapa das pesquisas



Fonte: Elaboração própria a partir de pesquisa na *Web of Science* e Google Acadêmico.

Observa-se na referida figura a ocorrência de 836 artigos sobre identificação de cargas na etapa 1. Desses, apenas dois artigos tratam sobre cargas similares.

Dos 836 artigos da etapa 1, 503 foram publicados entre 2014 e 2018 (etapa 2). Desses artigos da etapa 2 foram selecionados os 8 artigos mais citados por ano para a etapa 3.

Sobre o tema reflectometria, são 1517 artigos os artigos encontrados na base de dados *Web of Science*, os quais foram refinados pelas palavras-chave relativas aos assuntos detecção de falha, cabos coaxiais e cabos paralelos, gerando 22, 41 e 8 artigos, respectivamente, para a etapa 3.

Os temas identificação de cargas e reflectometria também foram pesquisados na base de dados Google Acadêmico, onde foram encontrados 3 artigos parecidos dos quais 1 foi selecionado para a etapa 3. Para o banco final foram selecionados 9 artigos sobre identificação de cargas (1 se repetiu tanto para cargas similares quanto para os mais citados por ano) e 8 para reflectometria, totalizando 17 artigos.

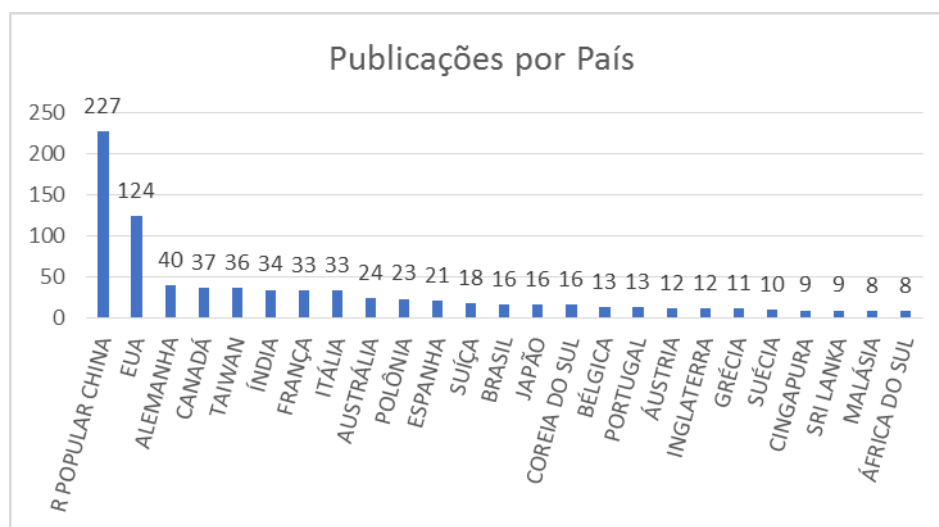
Figura 3 – Número de publicações por ano sobre identificação de cargas.



Fonte: Pesquisa na *Web of Science*

A Figura 3 mostra o número de publicações por ano sobre identificação de cargas na base da *Web of Science*. As primeiras publicações começaram em 1992. O primeiro artigo realmente alinhado com o tema de interesse foi publicado em 1994 na revista *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS* pelos autores De Almeida, A. T. e Vine, E. L., respectivamente do Dep. de Eng. Eletrotécnica da Universidade de Coimbra em Portugal e do Instituto para Eficiência Energética da Califórnia nos EUA. O número de publicações por ano manteve-se discreto até o ano de 2005, quando se deu início a um crescimento exponencial até o ano de 2017 (o último analisado), onde a taxa anual de publicação saiu de 7 para 136, ou seja, um aumento de quase 2000%.

Figura 4 – Número de publicações sobre identificação de cargas discriminadas por país.

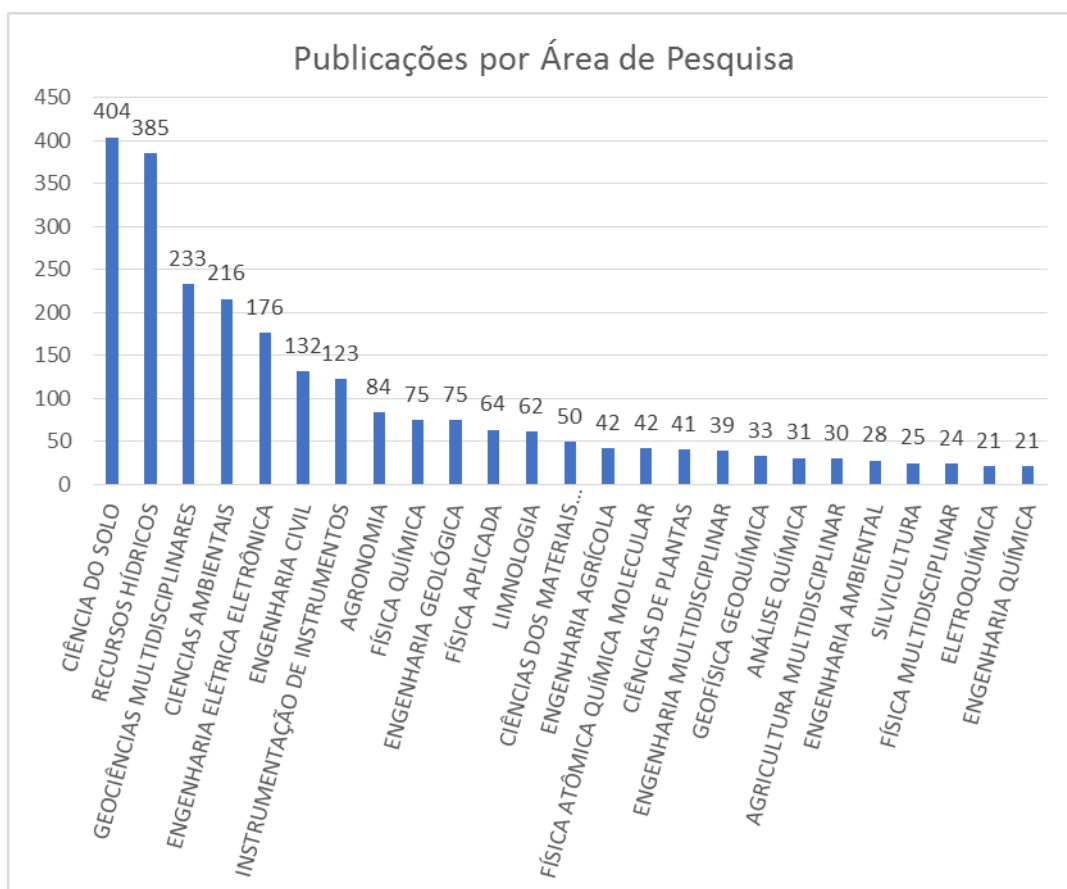


Fonte: Pesquisa na *Web of Science*

Conforme mostrado na Figura 4, o país com o maior número de publicações nos temas em análise tem sido a China (227), seguido de longe pelos EUA (124). O Brasil aparece na 13ª posição com 16 publicações.

A pesquisa sobre reflectometria retornou 1517 resultados (refinados por apenas artigos). Estes artigos foram analisados quanto ao número de publicações por área de pesquisa, por país e por ano.

Figura 5 – Número de publicações sobre reflectometria (TDR) discriminadas por área de pesquisa.

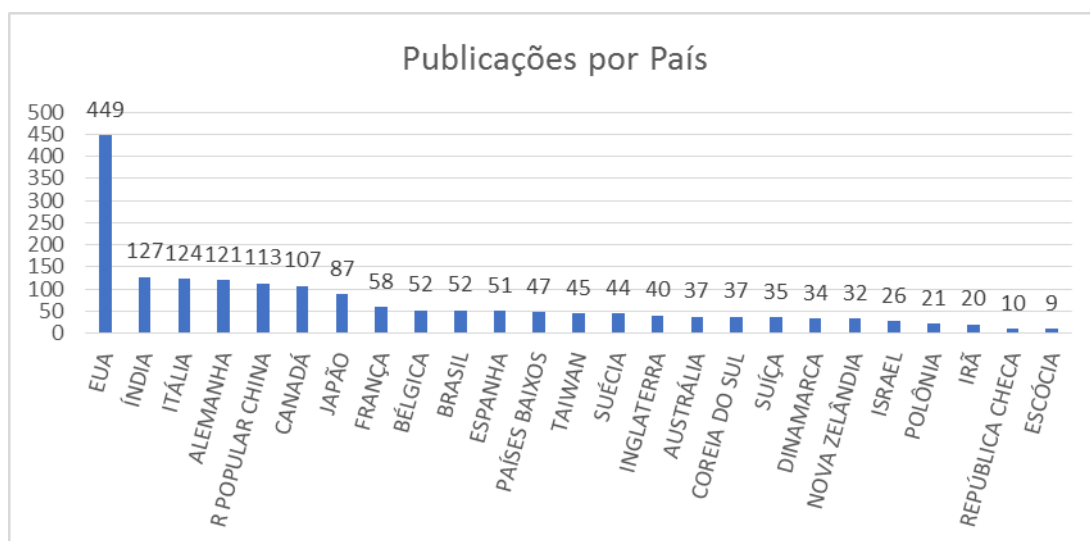


Fonte: Pesquisa na *Web of Science*

Podemos observar na Figura 5 que a reflectometria no domínio do tempo (TDR) é aplicada em muitas áreas do conhecimento, sendo as de Ciências do Solo e Recursos Hídricos as que tiveram maior número de publicações, 404 e 385 respectivamente. Destacam-se ainda as áreas de Geociências, Ciências Ambientais, Engenharia Elétrica e Eletrônica, Engenharia Civil, Agronomia e várias outras, o que mostra que a TDR é de fato uma ferramenta importante e versátil, sendo amplamente utilizada para tratar os mais diferentes tipos de problemas.



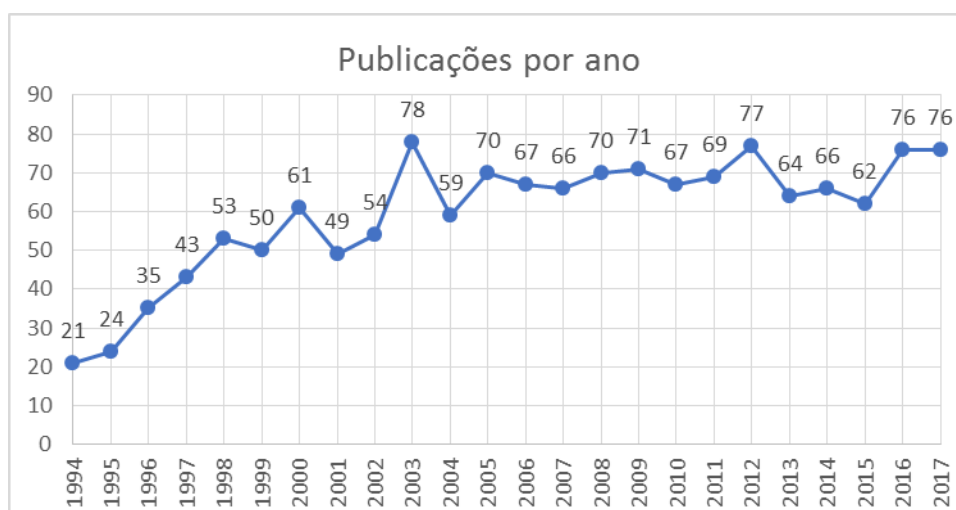
Figura 6 – Número de publicações sobre reflectometria *TDR* discriminadas por país.



Fonte: Pesquisa na *Web of Science*

A Figura 6 exibe o número de publicações sobre reflectometria *TDR* por país. O país que mais publicou sobre a *TDR* foram os EUA, com 449 publicações, um número bem maior que a Índia, segunda colocada com 127 publicações. Observa-se no gráfico que o Brasil aparece em 9º, empatado com a Bélgica, com 52 publicações.

Figura 7 – Número de publicações sobre reflectometria *TDR* discriminadas por ano de publicação.



Fonte: Pesquisa na *Web of Science*

O gráfico da Figura 7 mostra o resultado da pesquisa sobre o número anual de artigos publicados que tratam do tema *TDR* na base da *Web of Science*. Observa-se no gráfico que tal número de publicações apresentou um movimento crescente entre os anos de 1994 e 2003, mantendo-se estável a partir de então, o que mostra uma saturação momentânea do tema em

questão, mas não uma perda de importância do mesmo.

Os artigos do banco final, selecionados após a leitura dos resumos na etapa 3, estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Lista dos artigos selecionados na pesquisa

<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Ano</b>
A Hybrid Signature-based Iterative Disaggregation algorithm for Non-Intrusive Load Monitoring	Cominola <i>et al.</i>	2017
Toward Non-Intrusive Load Monitoring via Multi-Label Classification	Tabatabaei <i>et al.</i>	2017
An Empirical Investigation of V-I Trajectory Based Load Signatures for Non-Intrusive Load Monitoring	Hassan <i>et al.</i>	2014
PALDi: Online Load Disaggregation via Particle Filtering	Egarter <i>et al.</i>	2015
Nonintrusive Load Monitoring Using Wavelet Design and Machine Learning	Gillis <i>et al.</i>	2016
Non-Intrusive Load Disaggregation Using Graph Signal Processing	He <i>et al.</i>	2018
Power-Spectrum-Based Wavelet Transform for Nonintrusive Demand Monitoring and Load Identification	Chang <i>et al.</i>	2014
Application of load monitoring in appliances' energy management - A review	Abubakar <i>et al.</i>	2017
Front-End Electronic Circuit Topology Analysis for Model-Driven Classification and Monitoring of Appliance Loads in Smart Buildings	He <i>et al.</i>	2012
A New Algorithm for Wire Fault Location Using Time-Domain Reflectometry	Shi <i>et al.</i>	2014
A Matched-Pulse Approach for Soft-Fault Detection in Complex Wire Networks	Abboud <i>et al.</i>	2012
Fault location on shielded cables: Electromagnetic modelling and improved measurement data processing	Mariani Primiani <i>et al.</i>	2005
Analysis of Time-Domain Reflectometry Combined With Wavelet Transform for Fault Detection in Aircraft Shielded Cables	Zhang <i>et al.</i>	2016

Analysis of spread spectrum time domain reflectometry for wire fault location	Smith <i>et al.</i>	2005
Locating Faults With High Resolution Using Single-Frequency TR-MUSIC Processing	Kafal <i>et al.</i>	2016
Wiring fault detection with Boolean-chaos time-domain reflectometry	Zhang <i>et al.</i>	2015
Real Time Power Monitoring Detection Based on Sequence Time Domain Reflectometry Approach	Moayedi <i>et al.</i>	2018

Fonte: Elaboração própria a partir de pesquisa na *Web of Science* e Google Acadêmico.

Cominola *et al.*, (2017) apresentam um algoritmo híbrido computacionalmente eficiente chamado *Hybrid Signature-based Iterative Disaggregation (HSID)*, baseado na combinação de *Factorial Hidden Markov Models* e *Iterative Subsequence Dynamic Time Warping* para desagregação da energia consumida e da trajetória de cada aparelho de consumo.

Tabatabaei *et al.* (2017) fazem uma investigação de algoritmos de classificação *multi-label* para desagregação de aparelhos em um sinal de energia e mostra que essa classe de algoritmos recebeu pouca atenção na literatura embora sejam um ajuste mais natural ao problema de desagregação do que os classificadores tradicionais *single-label*. Examinaram uma estrutura de meta-classificação *multi-label (RAk EL)*, e um algoritmo de classificação *multi-label* sob medida (*MLk NN*), empregando recursos no domínio do tempo e no domínio *wavelet*. Descobriram que os algoritmos *multilabel* são eficazes e competitivos com os resultados publicados.

Hassan *et al.* (2014) expandiram e avaliaram as assinaturas de carga de aparelhos com base na trajetória V-I para precisão e robustez da previsão nos algoritmos de classificação usados para desagregar o uso residencial de energia e prever os perfis dos eletrodomésticos. Demonstraram também o uso de variantes de evolução diferencial como uma nova estratégia para a seleção de modelos de carga ideal no contexto da desagregação de energia. Suas avaliações experimentais indicaram que essas assinaturas de carga, em conjunto com vários algoritmos de classificação populares, ofereceram precisão geral de predição, robustez e confiabilidade melhor ou geralmente comparável a assinaturas de carga dinâmicas, ruidosas e altamente similares com relação à quantidade de potência elétrica e conteúdo harmônico.

Egarter *et al.* (2015) apresentam uma abordagem *NILM*, onde os estados do dispositivo são estimados por filtragem de partículas (*PF*). A *PF* é usada para problemas não-

lineares e não-gaussianos e é adequado para estimar o estado do aparelho. Aparelhos *ON / OFF*, dispositivos multiestados ou combinações deles são modelados por modelos ocultos de Markov, e suas combinações resultam em um modelo oculto de Markov fatorial que modela a demanda de potência da instalação residencial. Avaliaram a abordagem *NILM* baseada em *FP* em dados sintéticos e reais a partir de um conjunto de dados bem conhecido e mostraram que sua abordagem alcança uma precisão de 90% em termos de consumo real de energia em residências.

Gillis *et al.* (2016) apresentam um novo conceito baseado no *wavelets design* e *machine learning* aplicado ao monitoramento de carga não intrusivo. Os coeficientes *wavelet* do filtro de comprimento-6 são determinados usando *procrustes analysis* e são usados para construir novas *wavelets* para combinar com os sinais de carga a serem detectados, diferente de trabalhos anteriores que usaram funções *wavelet* projetadas anteriormente que são casos especiais de filtros Daubechies para atender aplicações de outros sistemas não energéticos como comunicações e processamento de imagens. Os resultados da aplicação do novo conceito a um sistema de teste composto por quatro cargas mostraram que a *wavelet* recém projetada pode melhorar a precisão da previsão comparada com a obtida usando o filtro Daubechies de ordem três, mantendo as características proeminentes do padrão nos níveis de detalhe.

He, Kanghang *et al.* (2018) desenvolveram uma abordagem baseada em *graph signal processing (GSP)* para a desagregação do consumo total de energia. Duas abordagens *NILM* baseadas em *GSP* foram propostas buscando suavidade por partes do sinal de potência de carga. A primeira, baseada na minimização total da variação do gráfico, procura um sinal gráfico suave sob *label constraints* conhecidas. A segunda usa o minimizador de variação total do gráfico como um ponto de partida para refinamento adicional via *simulated annealing*. A abordagem proposta visa resolver a grande sobrecarga de treinamento e a complexidade associada de métodos baseados em gráficos convencionais por meio de uma nova abordagem de gráfico baseada em eventos. Os resultados da simulação usando dois conjuntos de dados de medições reais demonstraram o desempenho competitivo das abordagens baseadas no *GSP* com relação às abordagens tradicionalmente usadas baseadas em *hidden Markov model* e árvore de decisão.

Chang *et al.* (2014) propõem um espectro de potência dos *wavelet transform coefficients (WTCs)* em diferentes escalas, calculado pelo teorema de Parseval, para reduzir efetivamente o número de *WTCs* que representam os sinais transitórios de ativação e desativação de carga sem degradar o desempenho. O sistema de classificação de propagação

reversa foi usado para construção de rede neural artificial e identificação de carga. As altas taxas de sucesso de reconhecimento de eventos de carga de experimentos e simulações provaram que o algoritmo proposto é aplicável em operações de múltiplas cargas em aplicações de monitoramento de demanda não intrusivas.

He, Dawei *et al.* (2012) apresentaram uma estrutura orientada por modelo baseado em conhecimento prévio, ao invés dos métodos puramente orientados a dados. O conhecimento prévio inclui identificação do circuito da fonte de alimentação, princípio operacional elétrico e uso do cliente. O artigo fez um estudo abrangente sobre topologias de circuitos de fontes de alimentação e sobre o mercado de fornecimento de energia comercial. O primeiro estudo forma a base do modelo de classificação hierárquica proposta do ponto de vista da eletrônica de potência, e o último estudo garante que o modelo de classificação proposta represente a maioria das cargas de eletrodomésticos no mundo real. A análise inicial mostrou que recursos otimizados podem ser obtidos a partir deste método, o que leva a uma solução muito mais simples e mais viável na diferenciação das sutis diferenças entre cargas similares.

Shi e Kanoun (2014) propõem a utilização de filtros adaptativos no método de detecção de falhas baseado em *TDR*, para reduzir o ruído espúrio da deconvolução e levar a uma estimativa de deconvolução aceitável, alcançando uma alta relação sinal-ruído, podendo identificar pequenas mudanças de impedância. É proposto um procedimento de ajuste não linear utilizando o critério de otimização Riad – Parruck para otimizar as características da banda de interrupção do filtro para reduzir o ruído dos componentes da função de transferência no domínio da frequência. Este método pode identificar falhas graves (circuito aberto e curto-circuito) e suaves em condutores e identificar tipos de falha simultaneamente em ambiente de laboratório.

Abboud *et al.* (2012) introduzem a ideia da reflectometria de pulso combinado, ou *matched pulse (MP)*, uma melhoria para técnicas de detecção de falhas em redes de fio, em que o sinal de teste é dependente da rede, auto adaptável, e projetado de forma a maximizar a probabilidade de detecção de um eco associado a uma eventual falha. Para esta metodologia, quanto mais complexa for a rede, melhor será o desempenho. A abordagem *MP* é particularmente interessante para a detecção de *soft-fault*, uma vez que fornece um desempenho melhorado uma vez que a falha é fracamente refletiva. Suas descobertas mostram que esta nova abordagem deve trazer uma melhoria substancial na probabilidade de detectar corretamente falhas em configurações que são consideradas críticas para técnicas de reflectometria padrão, particularmente quando se lida com redes ruidosas.

Mariani Primiani *et al.* (2005) analisaram o desempenho da técnica de reflectometria

no domínio do tempo (*TDR*) quando aplicada à localização de falhas em cabos. Diferentes tipos de defeitos são modelados e seus coeficientes de reflexão são calculados. É mostrado que os reflexos produzidos por pequenos defeitos são frequentemente mascarados pelo ruído, e que uma técnica de processamento de dados baseada na comparação com uma medida de referência, e o uso de correlação estatística, podem fazer com que os reflexos produzidos pelas falhas sejam muito mais visíveis.

Zhang *et al.* (2016) analisaram a viabilidade de uma combinação da reflectometria no domínio do tempo (*TDR*) e do método *wavelet* para detectar as falhas nos cabos coaxiais blindados com perdas em aeronaves. O método *wavelet* é usado para eliminar o ruído, assim como para localizar os pequenos reflexos na onda do *TDR*. Os resultados mostram que o tempo de subida encurtado da onda escalonada tem um efeito positivo nos coeficientes de reflexão de tensão da falta, o que é propício para detectar as falhas. A capacidade de reconhecimento das falhas é melhorada através método *wavelet* pela minimização do ruído, e pela detecção de singularidade. Entretanto, o método introduzido não satisfaz todos os requisitos do diagnóstico de falhas, sendo quase impossível detectar pequenas falhas.

Smith *et al.* (2005) apontam que a reflectometria no domínio do tempo do espectro disperso, ou *Spread Spectrum Time Domain Reflectometry (SSTDR)* e a *Sequence Time Domain Reflectometry (STDR)* demonstraram ser tecnologias eficazes para localizar falhas intermitentes nos cabos da aeronave que transportam sinais típicos em voo. Isto se deve aos baixos níveis de sinal de teste e a alta imunidade a ruído desses métodos que os tornam adequados para testar falhas de fiação intermitente, como circuitos abertos, curtos-circuitos e arcos. Foram examinados neste artigo os parâmetros que controlam a precisão, a latência e a relação sinal-ruído desses métodos. Ambos os métodos se mostraram eficazes para testar os cabos que transportam sinais de energia em corrente alternada, e o *SSTDR* é particularmente eficaz no teste de cabos que transportam sinais digitais.

Kafal *et al.* (2016) mostram a técnica *Time-Reversal Multiple Signal Classification (TR-MUSIC)* para testar redes de cabo a fim de detectar e localizar falhas suaves. Esta técnica pode fornecer resolução espacial na faixa de milímetro usando sinais de teste de onda contínua, ou *Continuos-Wave (CW)*, mesmo em frequências com comprimentos de onda muito maiores do que o comprimento do cabo, não sofre com a ambiguidade criada pela existência de múltiplos ecos nas redes de cabo, está adaptado para lidar com múltiplas falhas, entregando uma estimativa direta do número de falhas encontradas. Além disso, é insensível à gravidade de uma falha, uma vez que não são detectadas com base na intensidade dos ecos, mas em uma abordagem subespacial que depende principalmente dos padrões de fase. Os

sistemas de teste podem ser mais simples, não exigindo geradores de pulsos e eletrônica rápida. O método proposto também dá acesso ao coeficiente de reflexão de cada falta, permitindo uma estimativa de sua gravidade.

Zhang, Jian Guo et al. (2015) demonstraram experimentalmente um método de reflectometria no domínio do tempo chamado *Boolean-Chaos TDR* para detecção de falhas de cabo, que emprega um circuito booleano para gerar uma onda caótica de banda larga atuando como sinal de sonda e localizar falhas correlacionando uma duplicata do sinal da sonda e do sinal refletido. O circuito booleano é um pequeno sistema de realimentação retardada consistindo principalmente em duas portas exclusivas de *OR (XOR)* e uma porta exclusiva-*NOR*. Devido a resposta rápida e alta voltagem de operação de portas lógicas, o circuito booleano pode alcançar uma saída de alta largura de banda e grande amplitude, que proporciona uma alta resolução e uma longa distância mensurável para o *TDR*, tal como 2 km de distância de detecção e resolução de 0,1 m, obtidas por meio de um sinal caótico com largura de banda de 533MHz e amplitude de 2,5V nos experimentos. Além disso, demonstraram experimentalmente que a detecção de curtos-circuitos e incompatibilidades de impedância podem ser implementadas usando este método.

Moayed et al. (2018) mostra que a *Sequence Time Domain Reflectometry (STDR)* demonstrou ser uma técnica poderosa para detectar o comprimento do cabo ou comprimento do circuito aberto ou dos cabos de curto-circuito. Esta técnica pode ser usada em conjunto com um medidor digital inteligente e um circuito *STDR* em cada circuito no painel elétrico principal. Neste artigo é introduzido o método e são feitos teste com o fio energizado e desenergizado com uma carga conectada. O resultado do teste mostra a potencial aplicação dessa abordagem para fornecer informações de consumo e economia de custo via feedback para os usuários.

#### **4. Considerações Finais**

Este artigo contribui com uma base bibliográfica necessária para o entendimento do estado da arte referente ao problema de identificação de cargas elétricas, inclusive com o uso da reflectometria como possível ferramenta para o levantamento de características que permitam uma melhor identificação de cargas elétricas com alto grau de similaridade.

Os dados obtidos na pesquisa evidenciaram o interesse crescente nos últimos anos pela pesquisa sobre monitoramento e identificação de cargas de forma não intrusiva. Existem várias técnicas para identificação de cargas, utilizando várias características e algoritmos para



desagregação do sinal total de consumo de energia elétrica. Entretanto, a identificação de cargas altamente similares ainda é inexplorada.

Os dados mostram ainda que reflectometria (em particular a TDR) é uma ferramenta bastante aplicada em identificação de defeitos em linhas de transmissão de sinais, podendo ser aplicadas em problemas envolvendo a identificação de cargas elétricas. Uma das informações obtidas a partir da reflectometria é a distância entre fonte e carga, o que pode ser tomada como característica pelos métodos de identificação. No caso de cargas altamente similares, tal característica pode ser de grande relevância durante o processo de identificação, devendo ser melhor explorada em trabalhos futuros.

## Referências

ABBOUD, Layane; COZZA, Andrea; PICHON, Lionel. A Matched-Pulse Approach for Soft-Fault Detection in Complex Wire Networks. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 61, n. 6, p. 1719–1732, jun. 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6183514/>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

ABUBAKAR, I. et al. Application of load monitoring in appliances' energy management – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 235–245, 1 jan. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211630555X?via%3Dihub>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

CHANG, Hsueh-Hsien et al. Power-Spectrum-Based Wavelet Transform for Nonintrusive Demand Monitoring and Load Identification. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 50, n. 3, p. 2081–2089, maio 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6607153/>>. Acesso em: 13 jul. 2018.

COMINOLA, A. et al. A Hybrid Signature-based Iterative Disaggregation algorithm for Non-Intrusive Load Monitoring. **Applied Energy**, v. 185, p. 331–344, 1 jan. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191631488X?via%3Dihub>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

EGARTER, Dominik; BHUVANA, Venkata Pathuri; ELMENREICH, Wilfried. PALDi: Online Load Disaggregation via Particle Filtering. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 64, n. 2, p. 467–477, fev. 2015. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6881709/>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

GILLIS, Jessie M.; ALSHAREEF, Sami M.; MORSI, Walid G. Nonintrusive Load Monitoring Using Wavelet Design and Machine Learning. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 7, n. 1, p. 320–328, jan. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7110380/>>. Acesso em: 11 jul. 2018.



GOLDEMBERG, José. Energia e desenvolvimento. **Estudos Avançados**, v. 12, n. 33, p. 7–15, ago. 1998. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40141998000200002&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141998000200002&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 13 jul. 2018.

HASSAN, Taha; JAVED, Fahad; ARSHAD, Naveed. 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, mar. 2014. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6575197/>. Acesso em: 11 jul. 2018.

HE, Dawei et al. 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, dez. 2012. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6378417/>. Acesso em: 11 jul. 2018.

HE, Kanghang et al. Non-Intrusive Load Disaggregation Using Graph Signal Processing. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 9, n. 3, p. 1739–1747, maio 2018. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7539273/>. Acesso em: 11 jul. 2018.

JANNUZZI, Gilberto De Martino. AUMENTANDO A EFICIÊNCIA NOS USOS FINAIS DE ENERGIA NO BRASIL. 2002. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Gilberto\\_Jannuzzi/publication/239813211\\_AUMENTANDO\\_A\\_EFICIENCIA\\_NOS\\_USOS\\_FINAIS\\_DE\\_ENERGIA\\_NO\\_BRASIL/links/02e7e52de3e821174e000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Gilberto_Jannuzzi/publication/239813211_AUMENTANDO_A_EFICIENCIA_NOS_USOS_FINAIS_DE_ENERGIA_NO_BRASIL/links/02e7e52de3e821174e000000.pdf). Acesso em: 10 jul. 2018.

KAFAL, Moussa; COZZA, Andrea; PICHON, Lionel. Locating Faults With High Resolution Using Single-Frequency TR-MUSIC Processing. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 65, n. 10, p. 2342–2348, out. 2016. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7495017/>. Acesso em: 11 jul. 2018.

MARDOOKHY, Minoos et al. A study of energy efficiency in residential buildings in Knoxville, Tennessee. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 241–249, 15 dez. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/periodicos/capes.gov.br/science/article/pii/S0959652613006288?via%3Dihub#!>. Acesso em: 9 jul. 2018.

MARIANI PRIMIANI, V. et al. Fault location on shielded cables: Electromagnetic modelling and improved measurement data processing. **IEE Proceedings - Science, Measurement and Technology**, v. 152, n. 5, p. 217–226, 1 set. 2005. Disponível em: [http://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ip-smt\\_20045035](http://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ip-smt_20045035). Acesso em: 11 jul. 2018.

MOAYEDI, Sam et al. Real Time Power Monitoring Detection Based on Sequence Time Domain Reflectometry Approach. **Journal of Computer and Communications**, v. 06, n. 01, p. 92–103, 29 dez. 2018. Disponível em: <http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/jcc.2018.61010>. Acesso em: 13 jul. 2018.

SHI, Qinghai; KANOUN, Olfa. A New Algorithm for Wire Fault Location Using Time-Domain Reflectometry. **IEEE Sensors Journal**, v. 14, n. 4, p. 1171–1178, abr. 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6678706/>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

SMITH, P.; FURSE, C.; GUNTHER, J. Analysis of spread spectrum time domain reflectometry for wire fault location. **IEEE Sensors Journal**, v. 5, n. 6, p. 1469–1478, dez. 2005. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1532290/>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

TABATABAEI, Seyed Mostafa; DICK, Scott; XU, Wilsun. Toward Non-Intrusive Load Monitoring via Multi-Label Classification. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 8, n. 1, p. 26–40, jan. 2017. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7498597/>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

TUBALLA, Maria Lorena; ABUNDO, Michael Lochinvar. A review of the development of Smart Grid technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 710–725, 1 jun. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116000393>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

ZHANG, Jian Guo et al. Wiring fault detection with Boolean-chaos time-domain reflectometry. **Nonlinear Dynamics**, v. 80, n. 1–2, p. 553–559, 8 abr. 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11071-014-1888-x>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

ZHANG, Junmin; ZHANG, Yubo; GUAN, Yonggang. Analysis of Time-Domain Reflectometry Combined With Wavelet Transform for Fault Detection in Aircraft Shielded Cables. **IEEE Sensors Journal**, v. 16, n. 11, p. 4579–4586, jun. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7442073/>>. Acesso em: 11 jul. 2018.