

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

**MODELAGEM MATEMÁTICA DE CARGAS RESIDENCIAIS COM
IDENTIFICAÇÃO NÃO INTRUSIVA¹
MATHEMATICAL MODELING OF RESIDENTIAL LOADS WITH NON-
INTRUSIVE IDENTIFICATION**

Willian Henrique Dambros², Maurício De Campos³, Paulo Sérgio Sausen⁴

¹ Projeto de Pesquisa de Mestrado elaborado no Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática da Unijuí.

² Bolsista Unijuí no Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática da Unijuí.

³ Professor no Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática da Unijuí, Orientador.

⁴ Professor no Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática da Unijuí, Coorientador.

Resumo: Em ambientes residenciais existem diferentes tipos de cargas elétricas, sendo, necessário monitorar e identificar o uso de energia de cada carga, de forma individual. Para isso, existe duas técnicas de monitoramento: o monitoramento de cargas intrusivo (ILM), que realiza a medição dentro da residência, ou seja, é instalado vários sensores, um para cada equipamento a ser analisado, e, o monitoramento de cargas não intrusivo (NILM), que realiza a medição junto a entrada de energia (painel do medidor ou quadro geral), utilizando apenas um medidor para a aquisição de dados. O principal objetivo do projeto de dissertação é implementar a modelagem matemática de um sistema residencial a partir do monitoramento não intrusivo de cargas residenciais, de forma identificar e classificar as mesmas com auxílio de um algoritmo, de acordo com suas características, e por fim, que seja capaz de determinar o consumo de energia elétrica de cada carga. Mediante a essa proposta, será apresentado uma visão geral, em forma de um referencial teórico, das técnicas de monitoramento de cargas, apresentando maior foco no NILM, descrevendo suas principais vantagens e desvantagens.

Abstract: In residential environments there are different types of electrical charges, and it is necessary to monitor and identify the energy use of each charge individually. For this, there are two monitoring techniques: intrusive load monitoring (ILM), which performs the measurement inside the home, ie several sensors are installed, one for each equipment to be analyzed, and non-intrusive load monitoring. (NILM), which measures at the power input (meter panel or switchboard) using only one meter for data acquisition. The main objective of the dissertation project is to implement the mathematical modeling of a residential system from the non-intrusive monitoring of residential loads, in order to identify and classify them with the aid of an algorithm, according to its characteristics, and finally, that be able to determine the electrical consumption of each load. Through this proposal, an overview will be presented, in the form of a theoretical framework, of load monitoring techniques, presenting a greater focus on NILM, describing its main advantages and disadvantages.

Palavras-chave: monitoramento de carga intrusiva, monitoramento de carga não intrusiva, algoritmos de desagregação de cargas.

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

Keywords: intrusive load monitoring, non-intrusive load monitoring, load breakdown algorithms.

1 INTRODUÇÃO

Em diversos países, incluindo o Brasil, o consumo de energia elétrica tem aumentado progressivamente ao longo dos anos. Uma das soluções propostas é a redução do consumo de energia elétrica obtida através de programas de resposta a demanda, e, por meio de sistemas de gerenciamento de energia. Esses sistemas devem auxiliar na redução do desperdício de energia elétrica minimizando gastos desnecessários. Esta é uma solução tecnológica e sustentável, uma vez que, se baseia no princípio de redução de investimentos em expansão do Sistema Elétrico de Potência (SEP).

Nesse sentido, o monitoramento de cargas residenciais permite que seja obtido um conjunto de informações úteis para os consumidores de energia elétrica. Entre essas informações, a mais evidente é o detalhamento do consumo de energia elétrica de cada residência. Assim, é possível, que os consumidores a partir do seu padrão de consumo de energia, podem, por exemplo: readequar seus hábitos para uma redução dos gastos, ou ainda, avaliar a possibilidade de se utilizar uma tarifação diferenciada e até mesmo, avaliar a eficiência das cargas presentes na residência.

O monitoramento de cargas é um processo de aquisição de dados onde se obtém o consumo de cada carga, a partir de medições, em um sistema de energia. Normalmente, essas medições são realizadas por meio de sensores que devem ser instalados em cada carga, entretanto existem técnicas que permitem que essa tarefa seja realizada diretamente a partir de dados coletados na entrada de energia.

Nesse contexto, de acordo com Hart [1], existe o monitoramento de cargas intrusivo, que requer a instalação de vários sensores, um para cada equipamento a ser analisado, apresentando um hardware complexo, porém, o software utilizado, para obter o consumo de cada carga, é simples. Nessa técnica é necessário o acesso físico as cargas, por este motivo, o sistema é considerado intrusivo, além disso ele apresenta um alto custo para a sua instalação. Fatores que são uma desvantagem a essa técnica.

Por outro lado, Hart [1] propôs o monitoramento de cargas não intrusiva, como alternativa para se obter os dados de consumo instantâneo de energia elétrica sem a necessidade de sensores individuais em cada equipamento. Ou seja, a medição é realizada com apenas um sensor instalado na entrada de energia (quadro geral ou no próprio medidor). Essa técnica tem como principal vantagem a redução significativa no custo da instalação (hardware).

No entanto, como os dados estão sendo coletados a partir de um único ponto, é necessário alguma técnica que permita descobrir o consumo instantâneo e individual de cada carga.

O monitoramento de cargas não intrusivo, pode ser útil em diversas aplicações, como por exemplo: gerenciamento de cargas, auditorias energéticas, pesquisas sobre o regime de uso de cargas, acompanhamentos de cargas de difícil acesso, além de sistemas de detecção de falhas em equipamentos elétricos [2].

Neste artigo, o referencial teórico das técnicas de monitoramento de cargas elétricas é apresentado, com ênfase em sistemas não intrusivos (NILM), tido como base para proposta do projeto de pesquisa.

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

2 METODOLOGIA

O referencial teórico, ora apresentado, representa o estudo criterioso da bibliografia sobre o monitoramento não intrusivo de cargas elétricas residenciais. Neste sentido, estudos sobre o tema não são recentes, e datam da década de 90 do século XX. Com o passar dos anos essas técnicas foram sendo aprimoradas e atualmente tem-se inclusive bancos de dados reais utilizados na composição das mesmas, como por exemplo, o disponível em REDD [3].

O embasamento é apresentado em ordem cronológica que se objetiva ainda apresentar a evolução deste processo, uma vez que, ele está intimamente ligado ao desenvolvimento tecnológico de sensores e processadores. Cabe ressaltar ainda, que esta evolução tem permitido a evolução de técnicas matemáticas e computacionais cada vez mais complexas para a resolução deste tipo de problema.

MONITORAMENTO INTRUSIVO DE CARGAS

O Monitoramento de Cargas Intrusivo, também conhecido pelo termo inglês *Intrusive Load Monitoring* (ILM), apresentando na Figura 1, é aquele que requer acesso físico as cargas, ou seja, a instalação de um sensor para cada equipamento. Após a realização das medições, os dados obtidos em cada sensor são armazenados, organizados, e exibidos por um software [1].

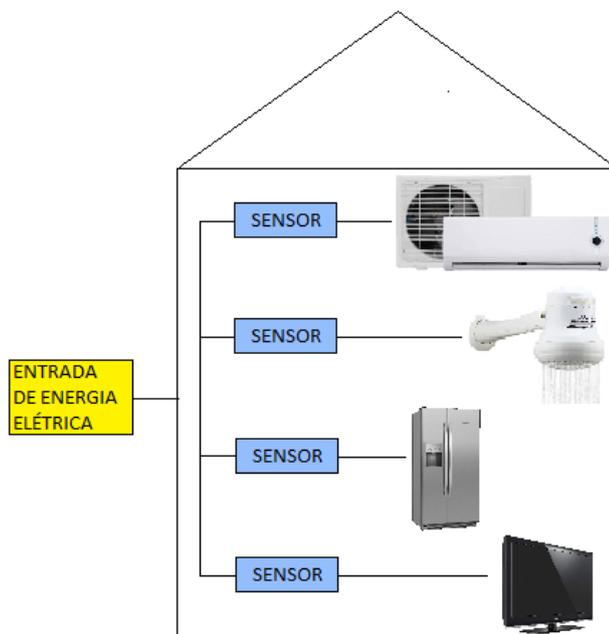


Figura 1 - Esquema do monitoramento intrusivo de cargas [Fonte: Autor].

Esta técnica, pode ser realizada de duas maneiras: direta ou indireta. No caso da técnica direta, são aquelas capazes de medirem as características elétricas de demanda de energia de cada

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

aparelho, sempre que o equipamento for ligado, o dispositivo envia o sinal com os dados indicando o estado de funcionamento do equipamento. Já, a técnica indireta, medem características não elétricas, a partir das quais a demanda de energia de cada aparelho é inferida. Para este caso, existem três formas de técnicas: etiquetagem de eletrodomésticos, sensores ambientais e análise de demanda condicional [4]. Como já afirmado, estes sistemas de monitoramento intrusivo, apresentam sua estrutura de hardware mais complexa. Uma vez que é necessária, a instalação dos sensores em cada equipamento, por outro lado um software mais simples, já que os dados são monitorados individualmente [1].

Instalações deste tipo, podem trazer informações detalhadas e precisas, informando o consumo, rotina de uso, e ciclo de funcionamento, sendo de grande utilidade para o gerenciamento do uso de energia elétrica. Apesar de ser a melhor solução, a necessidade de acesso físico é um obstáculo, além disso, o grande número de sensores utilizados, determina altos custos.

MONITORAMENTO NÃO INTRUSIVO DE CARGAS

O Monitoramento de Carga Não Intrusivo, do inglês *Non Intrusive Load Monitoring* (NILM), é uma alternativa utilizada para fornecer a informação de consumo de energia elétrica desagregada por equipamento ou dispositivo. Esta técnica, apresenta como característica principal o fato de não haver necessidade de acesso físico no interior das instalações, sendo que a medição é realizada com apenas um sensor colocado no circuito principal (quadro geral ou medidor) [1], conforme Figura 2.

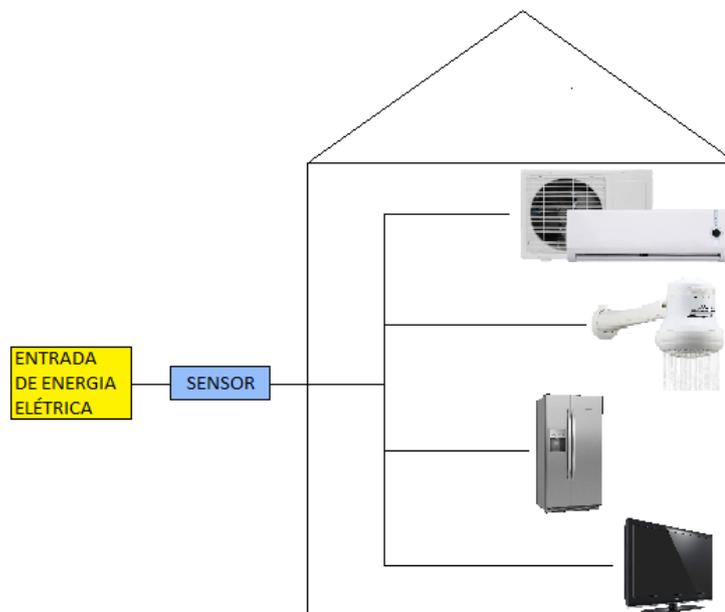


Figura 2 - Esquema do monitoramento não intrusivo de cargas [Fonte: Autor].

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

Este tipo de monitoramento, apresenta um hardware menos complexo, uma vez que, apenas um sensor é instalado junto ao ramal principal, porém, exige um software bem complexo, uma vez que necessita desagregar as informações de cada carga. Portanto, neste caso, o maior benefício está na redução dos custos com a instalação [1].

O consumo individual de cada carga é determinado a partir da análise e tratamento dos dados de tensão e corrente na interface com a fonte de energia elétrica que alimenta a instalação elétrica. Ou seja, as formas de onda de tensão e corrente são registradas, analisadas e processadas, com objetivo de gerar estimativa de consumo individual das cargas. Resumidamente, esta análise, permite a partir das características elétricas, conhecidas como assinaturas elétricas, identificar as cargas no momento em que elas são acionadas ou desligadas [1].

Sabe-se que as assinaturas elétricas contêm importantes informações para a identificação dos tipos de cargas. Quando observado o sinal em regime permanente, adquire-se informações como o nível de potência ativa e reativa, que podem ser utilizadas como um primeiro filtro. Porém, existem outras informações a partir da análise do regime transitório que podem auxiliar na identificação das cargas. Ainda, além da informação dos dados de tensão, também podem auxiliar nessa tarefa, a análise da forma de onda da corrente, cálculo de admitância da carga, componentes harmônicos da tensão e da corrente, entre outros [10]. Porém, apesar de conhecidas essas características, ainda não foi possível definir uma assinatura padrão que identifique todos os aparelhos.

Para Zeifman e Roth [4], as assinaturas elétricas, podem ser divididas em dois tipos: as microscópicas, que são aquelas relacionadas a forma de onda do sinal, como exemplo os harmônicos; e as macroscópicas, que estão relacionadas a variações de valores integralizados, como exemplo, os valores da potência ativa e reativa.

Existem dois métodos com diferentes graus de intrusão, propostos por Hart (1992) [1]: o *Manual-Setup* (MS-NALM), em que é necessário um momento de intrusão, onde é realizado o treinamento/aprendizado, para que as assinaturas sejam observadas e nomeadas, a partir do acionamento das cargas manualmente; e o *Automatic-Setup* (AS-NALM), que são utilizadas informações a priori das possíveis cargas instaladas, não necessitando momento de intrusão.

Neste sentido, o AS-NALM é mais atrativo, do ponto de vista da não intrusividade. Porém o MS-NALM é considerado atualmente o primeiro esforço de comercialização, devido a sua relativa simplicidade e também porque deverá fornecer informações para enriquecer a base de dados do AS-NALM [1].

De acordo com Zeifman e Roth [4], existem vários trabalhos que apresentam metodologias diferentes no desenvolvimento de algoritmos para a desagregação de cargas, porém, pode-se considerar três etapas: detecção de eventos, reconhecimento da carga e estimativa do consumo.

Ainda, segundo constatação de Zeifman e Roth [4], as metodologias de NILM são divididas basicamente em três etapas:

- Descrever matematicamente as características elétricas dos equipamentos, ou seja, suas assinaturas elétricas;
- Instalar medidores ou sensores com capacidade de obter os dados onde seja possível identificar tais assinaturas;
- E, detectar as assinaturas elétricas através de algoritmos matemáticos na curva da instalação.

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

Aplicações

As técnicas de NILM são muito úteis para o monitoramento de cargas, devido a sua facilidade na instalação, uma vez que, permitem, que vários aparelhos sejam monitorados simultaneamente. Tem como características principais, menor custo, melhor resolução, bem como maior facilidade na instalação, remoção e manutenção. Vantagens essas, fazem com que o NILM seja utilizado por diversos públicos, incluindo analistas de cargas, analistas de taxas, formuladores de políticas públicas, além de projetistas de dispositivos/aparelhos [7].

Uma aplicação do NILM está relacionada ao monitoramento de clientes das concessionárias com fins de auditoria energética. O NILM é instalado por um determinado período, em seguida é gerado um relatório com consumo de energia dos aparelhos presentes naquela residência. Com estes dados em mãos, é possível readequar o uso de energia, buscando maneiras de reduzir o consumo e os custos [1]. Além disso, o NILM é utilizado no controle de gerenciamento de carga por demanda, com intuito de readequar a utilização dos aparelhos para períodos fora de pico [8].

Outra utilidade do monitoramento de cargas, que ainda não foi explorado neste trabalho, é com relação a análise de falhas ou ainda, para fins de segurança. Por exemplo, aparelhos que apresentam alguma falha podem ser detectados por seu consumo incomum de energia ou ainda, por algum comportamento inadequado a partir da análise da sua assinatura. Outra aplicação, ainda não explorada de modo efetivo, são instalações que não se pode ter acesso físico as cargas (i.e. espaços confinados ou ambientes com risco de explosão) [1]. Assim pode-se concluir que, o NILM pode ser aplicado em três classes de clientes, residenciais, comerciais e industriais, contudo o tratamento deverá ocorrer de maneira diferenciada, devido aos diferentes tipos e características de cargas. Entretanto, até o momento, a maioria das implementações e pesquisas realizadas, foram voltadas para cargas residenciais [9].

Modelos de Aparelhos

Hart [1], classificou os equipamentos em três classes:

- ON/OFF: Representam uma grande parte das cargas presentes em residências, são aquelas que têm único estado quando estão ligadas. Exemplos: TV, chuveiro, geladeiras e lâmpadas;
- Máquinas de Estados Finitos (MEF), ou do inglês, *Finite State Machine* (FSM): Podem possuir um número arbitrário de estados e de transições entre elas. Exemplo: Máquina de lavar roupas;
- Continuamente Variáveis: Apresentam um número infinito de estados, porém, são pouco utilizadas em ambientes residenciais. Exemplo: Refrigeradores que usam inversores de frequência para controlar a velocidade do compressor, furadeiras;

Apesar de Hart [1], listar apenas três modelos de cargas, de acordo com Zeifman e Roth [4], o mais adequado seria tratar a classificação com quatro classes, sendo acrescentado as cargas consideradas continuamente ligadas. Este tipo de carga, consome energia, durante 24 horas por dia, 7 dias por semana, com potências ativas e reativas aproximadamente constantes. Como exemplo deste tipo de cargas, pode citar os roteadores, utilizados para internet.

Portanto, quando analisado os modelos de cargas, os equipamentos presentes na categoria continuamente ligadas, que estão sempre operacionais sem variação de cargas, e os presentes na continuamente variáveis, que apresentam variações contínuas na demanda, é difícil de diferenciá-

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

los pela curva. Estes tipos de equipamentos, possuem baixa demanda de energia, ou são poucos utilizados, dependendo do caso, contribuindo assim de forma pouco significativa para o consumo total. Já para as categorias ON/OFF e Máquinas de Estados Infinitos, são aquelas que representam a maioria dos equipamentos nas residências, apresentando uma identificação mais facilitada, visto que é possível observar os degraus de demanda na curva de carga quando entram e saem de operação. Nesse sentido vale ressaltar que, quanto maior a resolução dos dados, mais detalhes podem ser representados pelas assinaturas elétricas dos equipamentos [5]. Então como já abordado, as cargas monitoradas em uma residência, podem ser agrupadas em diferentes tipos de classes quanto a seu funcionamento em regime. Essas são agrupadas, pela classificação de Hart [1] em três tipos diferentes, conforme é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Modos de operação de cargas residenciais [10].

Tipo de Carga	Exemplos	Eventos	Demanda de Potência
Estado único	Lâmpadas incandescentes, torradeiras, chuveiro elétrico	ON=OFF	Plana
Varição contínua	Geladeira, freezer	ON \neq OFF	Variante
Estados múltiplos	Máquina de lavar, aquecedor	Eventos múltiplos	Variante ou plana

Analisando-se a Tabela 1, percebe-se que cargas com alto valor de componentes resistivos apresentam estado único, sua potência ativa consumida é constante, ou seja, a potência consumida para acionar a carga e desligá-la, é igual a consumida durante seu funcionamento. Para o segundo caso, cargas de variação contínua, a potência reativa está presente, apresentando assim transitórios ao ligar e desligar a carga, ou seja, sua potência e características são variantes no tempo. Já para o terceiro caso, aonde as cargas possuem múltiplos estados, sua demanda de potência pode ser variante ou plana. Na Figura 3, é possível ver o comportamento desses 3 tipos de cargas.



Figura 3 - Tipos de cargas variantes no tempo [13].

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

Ainda, de acordo com [14], pode-se representar as cargas residenciais em 6 grupos: resistivos, motores de bombeamento, motorizados, eletrônicos, com controle eletrônico de potência e iluminação. A Tabela 2, apresenta os grupos de cargas, suas características e alguns exemplos.

Tabela 2 - Grupos de cargas residenciais.

Grupo	Característica	Exemplo
Resistivo	Potência reativa nula. Transitório reduzido ou nulo	Lâmpadas incandescentes, chuveiros elétricos.
Motores de bombeamento	Potência reativa significativa. Transitório de partida elevado.	Motores de geladeira, freezer, máquinas de lavar.
Motorizado	Potência reativa. Transitório de partida inferior	Ventiladores, multiprocessadores.
Eletrônicos	Chaveamento e componentes harmônicos elevados.	Computadores, televisores, monitores.
Controle de potência eletrônica	Variam de acordo com a potência em que operam.	Aspiradores de pó, fogões.
Lâmpadas fluorescentes	Transitórios longos, alta geração de terceiro harmônico	Lâmpadas fluorescentes

Aquisição do Sinal

Nas instalações residenciais, os medidores instalados pelas concessionárias de energia, normalmente, são capazes de medir o total de energia consumida pelos usuários, não apresentando capacidade para fornecer dados que permitam a identificação do consumo desagregado de cada carga presente nas residências. Consequentemente, torna-se necessário instalar um sistema em paralelo ao da concessionária para obter informações mais detalhadas do consumo de energia.

A aquisição do sinal passa a ser a primeira etapa do NILM, ou seja, recolhe-se os dados de consumo de eletricidade de uma determinada residência a uma taxa adequada de medição para que os diferentes tipos de cargas possam ser identificados. A taxa de amostragem, ou seja, a frequência utilizada no recolhimento dos dados, depende de diversos fatores, como: o tipo de algoritmo a utilizar, o intervalo de precisão pretendido e das características dos medidores utilizados. Tendo em vista isso, pode-se fazer de duas maneiras [6]:

- Baixa frequência de amostragem: São medidores que trabalham com uma baixa taxa de amostragem, ou seja, inferior a 1 Hz (superiores ou igual a 1 segundo). Apresentam como ponto relevante o baixo custo na aquisição dos dados, por ser um hardware simples. Esses dados adquiridos através de uma baixa frequência, permitirão adquirir características macroscópicas (exemplo, a potência ativa e reativa).
- Alta frequência de amostragem: São medidores que trabalham com uma alta taxa de

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

amostragem, ou seja, superiores a centenas de Hz. Apresentam um alto custo, devido ao hardware ser sofisticado. Com os dados obtidos em alta frequência, é possível observar as características microscópicas (harmônicas e as formas de onda de tensão e corrente).

A crescente implementação das Redes Inteligentes (do inglês, *Smart Grids*), e conseqüentemente, a implementação e utilização de Medidores Inteligentes (do inglês, *Smart Meters*), proporcionará um grande incentivo nas pesquisas voltadas ao NILM. Esses medidores, além de possuírem a capacidade de fornecer informações de consumo e demanda de energia mais detalhadas e em intervalos de tempo programáveis, apresentam a capacidade de comunicação com a concessionária e uma interface para interação com os usuários, permitindo que a gestão de energia seja feita em tempo real [11].

Portanto, aplicando as técnicas do NILM juntamente com os medidores inteligentes, será possível torná-lo definitivamente inteligente, uma vez que, fará com que o próprio medidor além de realizar a medição e transmissão dos dados, seja capaz de processar algoritmos com técnicas não intrusiva capazes de identificar, classificar e determinar o consumo individual de cada carga naquela edificação.

Banco de Dados Publicamente Disponibilizados

Com o objetivo de tentar tornar as pesquisas mais equivalentes no sentido de futuras comparações, pesquisadores têm disponibilizado as medições de energia utilizadas em seus trabalhos. Essas medições, abrangem os dados agregados, normalmente, de toda a instalação, bem como, em alguns casos, dados independentes por circuito, facilitando a identificação. Esses conjuntos de dados, facilitam a comparação de algoritmos desenvolvidos entre diversos autores. Existem diversos conjuntos de dados disponíveis, como é o caso do REDD (*Reference Energy Disaggregation Dataset*), que será utilizado nesse estudo.

O REDD, é um banco de dados disponibilizado por Kolter e Johnson [3], desenvolvido para impulsionar as pesquisas sobre o consumo desagregado de energia elétrica. Se comparado a outras áreas de pesquisa, o consumo de energia elétrica, não apresenta muitas informações disponíveis publicamente para os pesquisadores, fazendo com que cada pesquisador utilize seu próprio banco de dados e suas próprias metodologias, impossibilitando a comparação entre os trabalhos desenvolvidos.

Os dados foram coletados de 10 residências da região de Massachussetts, nos EUA, em que o sistema era bifásico. O banco de dados REDD está disponível nas seguintes formas [3]:

- Valor total da corrente em duas fases e de tensão em uma, com resolução de 15 kHz;
- Valor da demanda total de energia em cada fase, com taxa de amostragem de aproximadamente uma medição por segundo;
- E, valor de demanda de cada circuito parcial da residência medido a uma taxa de amostragem de três ou quatro segundos.

Desagregação das cargas

No NILM, uma das mais importantes e principais etapas, é a desagregação de cargas, realizada após a aquisição dos dados. Devido a isso, é necessário entender as três etapas envolvidas nesse

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

processo, que são: a detecção de eventos, o reconhecimento dos tipos de cargas, e por fim, a estimação do consumo de cada carga.

A detecção de eventos, significa determinar quando uma carga mudou seu estado de regime, ou seja, quando ligou, desligou ou passou para uma nova etapa de funcionamento. A Figura 4 mostra como funciona a detecção de eventos, sendo que as setas em vermelho, mostram essa alteração de eventos [5].

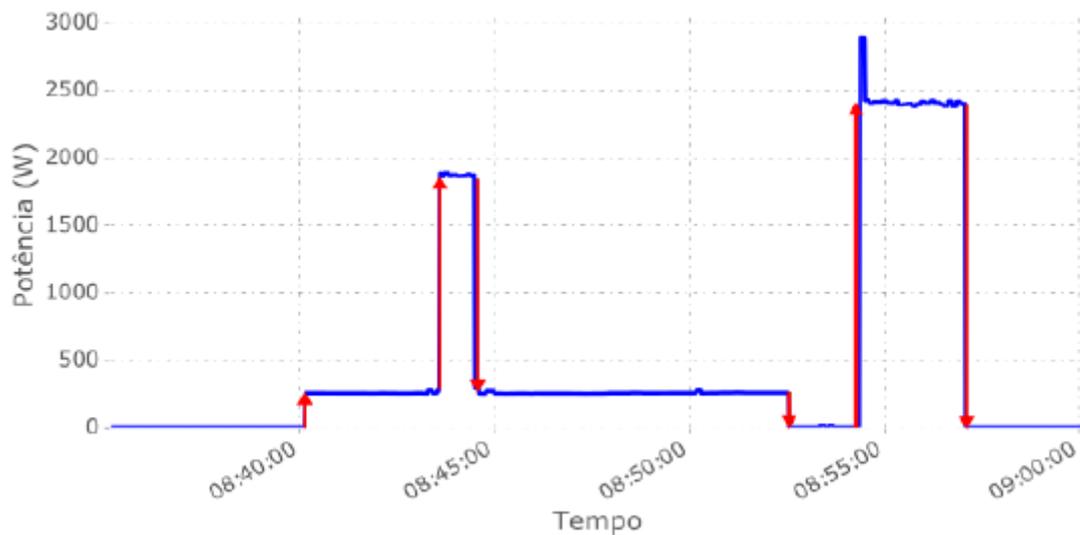


Figura 4 - Detecção de eventos através da curva de potência ativa [5].

A segunda etapa, é o reconhecimento dos eventos, que tem por objetivo identificar a carga de acordo com cada evento identificado, realizada através das assinaturas elétricas presentes em cada carga. O reconhecimento dos eventos pode ser realizado de três maneiras diferentes [12]:

- Supervisionada: Conhecido também por Classificação, neste caso, exige um treinamento das possíveis cargas presentes nas residenciais (ou seja, um conjunto de eventos já rotulados), para em seguida, após a detecção das cargas, classificá-las com as assinaturas semelhantes que já estavam rotuladas;

- Não supervisionada: Conhecido também por Agrupamento, onde os eventos semelhantes são agrupados, sendo que cada grupo representa um tipo de carga. Neste caso, não há a necessidade do treinamento inicial das cargas, e nem de modelos de equipamentos.

- Semi-supervisionado: Necessitam apenas de modelos de eletrodomésticos genéricos que contêm informações e características de determinados dispositivos.

E por fim, realiza-se a estimação do consumo de energia elétrica por cada carga analisada, que depende dos procedimentos de classificação, bem como dos tipos de cargas a serem estimadas.

Algoritmos

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

Vários estudos foram desenvolvidos a partir do final de 1980 até os dias atuais, dando destaque para Hart [1], que pode ser considerado o marco principal dessa área. Apesar de o NILM ter recebido uma atenção significativa nos últimos anos através de pesquisas, e de seu alto potencial, ainda não foi desenvolvido um algoritmo capaz de detectar todos os tipos de cargas presentes em uma residência.

A seguir serão apresentados quatro algoritmos que serão utilizados neste estudo para desagregação das cargas dos conjuntos de dados, com intuito de determinar a precisão de cada um na identificação das cargas.

Algoritmo de Parson

O algoritmo de Parson [15] é um algoritmo que usa modelos ocultos de Markov (do inglês, *Hidden Markov Model* - HMM) conjugado com o algoritmo de Viterbi. É considerado um algoritmo semi-supervisionado, pois utiliza modelos genéricos de equipamentos que apresentam informações e características prévias. Utiliza uma baixa taxa de amostragem, ou seja, as medições são realizadas a cada 1 minuto. Este algoritmo, consegue identificar com precisão o consumo de equipamentos como: refrigeradores e micro-ondas.

Algoritmo de Baranski e Voss

O algoritmo de Baranski e Voss [16], identifica eventos (de acordo com a alteração de carga elétrica de determinadas amplitudes) e classifica de acordo com algum eletrodoméstico. Para isso, utiliza um algoritmo genético de seleção natural, que vai determinar a sequência lógica mais provável para cada um dos equipamentos. É um algoritmo do tipo não supervisionado e apresenta uma baixa taxa de amostragem, aproximadamente uma granularidade dos dados de 1 segundo. Por fim, este algoritmo obteve maior precisão na identificação de cargas de maior potência, como é o caso, do frigorífico, o fogão elétrico e o aquecedor elétrico.

Algoritmo de Weiss

O algoritmo de Weiss [17], baseia-se no trabalho desenvolvido por Hart, ou seja, extrai eventos com alteração no consumo elétrico e associa a cada evento o equipamento que apresenta valores mais próximos provenientes de uma base de dados de assinaturas elétricas. Devido a isso, é considerado um algoritmo supervisionado, ou seja, exige treinamento. A taxa de amostragem é considerada baixa, apresentando medições a cada 1 segundo, tendo sido necessários dados de potência ativa e reativa. Por fim, quanto aos dados analisados, estes foram adquiridos em laboratório artificial, ou seja, não foram analisados com dados reais.

Algoritmo de Kolter e Jaakkola

Por fim, tem-se o algoritmo de Kolter e Jaakkola [18], que assemelhasse ao algoritmo de Parson, modelando os equipamentos elétricos através do recurso da HMM de modo a desagregar os diversos consumos elétricos na habitação. É um algoritmo que não necessita de supervisão, necessitando apenas do consumo agregado da residência. Utiliza como dados reais, o banco de

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

dados REDD, obtendo uma precisão de 87%. Quanto a sua taxa de amostragem, as medições são realizadas a cada 1 segundo, ou seja, uma baixa frequência na amostragem dos dados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre todos os trabalhos avaliados neste artigo, foi possível perceber uma gama de vantagens apresentadas pelo NILM, quando comparado ao ILM, como por exemplo:

- A instalação que requer de menos componentes, e desta forma acaba tendo um baixo custo com a instalação, menor índice de manutenção, maior confiabilidade e menores requisitos para a instalação. Como se trata de uma fácil instalação, permite ampliar a gama de dispositivos monitorados, bem como facilita a sua instalação, podendo abranger um maior número de edificações, fornecendo assim, dados mais amplos, e na maioria dos casos mais precisos;
- Outra vantagem importante, é que o NILM não é restrito ou limitado pela largura de banda da comunicação, dependendo apenas da sofisticação do algoritmo, para poder decompor o perfil de carga total;
- O AS-NALM ajusta-se automaticamente às alterações na contagem dos aparelhos e aqueles que não estejam registrados, superando assim o monitoramento intrusivo, em que os aparelhos que a concessionária não tem conhecimento, permanece sem monitoramento;
- É uma tecnologia que não está restrita a quantidade de aparelhos a serem monitorados, ao contrário do monitoramento intrusivo, em que são limitados ao número de sensores instalados;
- Outro fator importante proporcionado pelo NILM, é que pode ser usado, em tese, mesmo em clientes que não permitiam a entrada em suas residenciais para a realização das medições.
- Por fim, estes equipamentos, fornecem aos clientes uma noção do funcionamento de cada tipo de carga, permitindo assim que eles possam realizar mudanças nos hábitos de consumo de energia. Porém, existem algumas desvantagens, como por exemplo:
- Atualmente o NILM apresenta falhas ao identificar determinados aparelhos, como: dispositivos com potência baixa (menos de 100W); aparelhos continuamente variáveis (por exemplo, reguladores de luz); aparelhos que operam constantemente (por exemplo, roteadores); e cargas idênticas;
- Neste tipo de monitoramento, podem ocorrer erros não detectados, uma vez que, a carga é desagregada por software e não através de um hardware (sensores e canais de comunicação separados). Um aparelho diferente, não detectado em testes de campo, pode apresentar algumas propriedades que confundam o software.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo desenvolvido permitiu identificar as principais vantagens de se utilizar o monitoramento não intrusivo de cargas, tendo como principal, o baixo custo na instalação e a não intrusividade nas residências. Percebe-se que muitos estudos vêm sendo desenvolvidos nessa área, porém, ainda não se tem um algoritmo capaz de identificar todas as cargas presentes em uma residência. Portanto, um sistema NILM, que tenha uma boa sensibilidade na identificação das cargas pode auxiliar os consumidores, como o melhor horário para utilizá-las, mostrando assim a importância de monitorar e gerenciar cargas, evitando perdas desnecessárias, tanto para o consumidor, como

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa

as concessionárias de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

- [1] G. W. Hart, "Nonintrusive appliance load monitoring," Proceedings of the IEEE, vol. 80, no. 12, pp. 1870-1891, 1992.
- [2] E. R. Proper, "Automated classification of power signals," tech. rep., MASSACHUSETTS INST OF TECH CAMBRIDGE, 2008.
- [3] J. Z. Kolter and M. J. Johnson, "Redd: A public data set for energy disaggregation research," in Workshop on Data Mining Applications in Sustainability (SIGKDD), San Diego, CA, vol. 25, pp. 59-62, 2011.
- [4] M. Zeifman and K. Roth, "Nonintrusive appliance load monitoring: Review and outlook," IEEE transactions on Consumer Electronics, vol. 57, pp. 76-84, 2011.
- [5] H. A. D. Azzini, "Sistema de monitoramento de cargas residenciais usando informações on-off e modelos de consumo," 2017.
- [6] A. Zoha et al. Non-intrusive load monitoring approaches for disaggregated energy sensing: A survey. Sensors, v. 12, n. 12, p. 16838-16866, 2012.
- [7] H. S. Geller, "Energy-efficient residential appliances: Performance issues and policy options," IEEE Technology and Society Magazine, vol. 5, pp. 4-10, 1986.
- [8] M. G. Morgan and S. N. Talukdar, "Electric power load management: Some technical, economic, regulatory and social issues," Proceedings of the IEEE, vol. 67, no. 2, pp. 241-312, 1979.
- [9] C. Andrews, "Nonintrusive monitoring device for electric loads in commercial buildings," MIT Laboratory for Electrical and Electromagnetic Systems Technical Report, 1988.
- [10] R. C. Monzani et al., "Monitoramento não invasivo e identificação do consumo de energia individual de cargas residenciais," 2016.
- [11] D. d. P. PENHA et al., "Rede neural convolucional aplicada à identificação de equipamentos residenciais para sistemas de monitoramento não-intrusivo de carga," 2018.
- [12] C. Beckel, W. Kleiminger, R. Cicchetti, T. Staake, e S. Santini, «The ECO Data Set and the Performance of Non-Intrusive Load Monitoring Algorithms», Proc. 1st ACM Conf. Embed. Syst. Energy-Efficient Build., pp. 80-89, 2014.
- [13] A. Zoha, A. Gluhak, M. Imran, and S. Rajasegarar, "Non-intrusive load monitoring approaches for disaggregated energy sensing: A survey," Sensors, vol. 12, no. 12, pp. 16838-16866, 2012.
- [14] F. Sultanem, "Using appliance signatures for monitoring residential loads at meter panel level," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 6, no. 4, pp. 1380-1385, 1991.
- [15] O. Parson, S. Ghosh, M. Weal, and A. Rogers. Nonintrusive load monitoring using prior models of general appliance types. In Proc. AAI, 2012.
- [16] M. Baranski and J. Voss. Genetic algorithm for pattern detection in NIALM systems. In Proc. SMCS. IEEE, 2004.
- [17] M. Weiss, A. Helfenstein, F. Mattern, and T. Staake. Leveraging smart meter data to recognize home appliances. In Proc. PerCom. IEEE, 2012.
- [18] J. Z. Kolter and T. Jaakkola. Approximate inference in additive factorial HMMs with application to energy disaggregation. In Proc. AISTATS, 2012.

Bioeconomia:
DIVERSIDADE E RIQUEZA PARA O
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

SALÃO DO UNIJUI 2019
CONHECIMENTO

21 a 24 de outubro de 2019

XXVII Seminário de Iniciação Científica
XXIV Jornada de Pesquisa
XX Jornada de Extensão
IX Seminário de Inovação e Tecnologia

Evento: XXIV Jornada de Pesquisa