

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**PEDRO PAULO DE OLIVEIRA CAMPOS**

**CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL DE CARGA RESIDENCIAL COM PYTHON:  
PROBLEMATIZAÇÃO, DEFINIÇÕES DE CLASSES E SUAS RELAÇÕES**

**Ilha Solteira**

**2022**

**PEDRO PAULO DE OLIVEIRA CAMPOS**

**CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL DE CARGA RESIDENCIAL COM PYTHON:  
PROBLEMATIZAÇÃO, DEFINIÇÕES DE CLASSES E SUAS RELAÇÕES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado pelo discente **Pedro Paulo de Oliveira Campos** à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp, sob orientação do **Prof. Dr. Jonatas Boas Leite**, para obtenção do título de Engenheiro Elétrico.

**Ilha Solteira**

**2022**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C198c Campos, Pedro Paulo de Oliveira.  
Caracterização do perfil de carga residencial com Python:  
problematização, definições de classes e suas relações / Pedro Paulo de  
Oliveira Campos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022  
35 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -  
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022

Orientador: Jonas Boas Leite  
Inclui bibliografia

1. Redes inteligentes de energia elétrica. 2. Smart meters. 3. Estrutura de  
dados. 4. Python.

  
Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seções  
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação  
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação  
CRB/8 - 9999

**ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO**

Aos vinte e dois dias do mês de Julho do ano de dois mil e vinte e dois, o discente *Pedro Paulo de Oliveira Campos*, matriculada sob o nº 152055011, tendo como banca examinadora o seu orientador, o *Prof. Dr. Jonatas Boas Leite*, o *Prof. Dr. Dionízio Paschoareli Júnior* e o *Doutorando Brian Daniel Jaramillo León*, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado “**Caracterização do Perfil de Carga Residencial com Python: Problematização, Definições de Classes e suas Relações**”, obtendo a nota 10,0 ( DEZ ) e conceito APROVADO.



---

Prof. Dr. Jonatas Boas Leite


- Orientador -



---

Pedro Paulo de Oliveira Campos


- Discente -



---

Prof. Dr. Dionízio Paschoareli Júnior

- Membro da Banca -



---

Doutorando. Brian Daniel Jaramillo León

- Membro da Banca -

***Dedicatória***

*A minha família:*

Cláudia Cristina, João Paulo, Ronaldo, Nelson e Antônio Campos e Ronaldo Quirino por uma vida de dedicação e amor, sempre me apoiaram e possibilitaram que eu realizasse os meus sonhos e conquistasse o título de engenheiro.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todas as pessoas que a vida me presenteou nestes últimos anos. Anos que me trouxeram conhecimentos, experiências essenciais à forma de ver o mundo e nele atuar.

Agradeço, principalmente, à minha mãe, Cláudia Cristina de Oliveira Campos Quirino, meu irmão João Paulo de Oliveira Campos, ao Ronaldo Quirino Pereira e Nelson Antônio Campos, por todo carinho e pelo apoio em todas as decisões que me trouxeram até aqui, por estarem sempre ao meu lado e pelo imenso prazer de fazer parte dessa família que eu admiro muito.

Ao meu orientador Jonatas Boas Leite, pela oportunidade, por seu tempo e dedicação na condução deste trabalho e pelos ensinamentos que eu obtive durante o processo.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), pelo financiamento do meu intercâmbio na Universidade de Córdoba na Argentina realizado pelo programa MARCA.

*“We can only see a short distance ahead,  
but we can see plenty there that needs  
to be done.” - Alan Turing*

## RESUMO

Com objetivo de auxiliar nesta importante linha de estudo, este projeto propõe um aplicativo de código aberto com funcionalidades importantes de tratamento de dados gerados por *smart meters* desenvolvido em *Python*. Embora os dados utilizados tenham relativa incerteza, os resultados apresentados comprovam a capacidade da ferramenta implementada em análises importantes, possibilitando, assim, o acréscimo de outros dados, de modo a criar um ambiente que seja capaz de prever e monitorar consumo, tanto no ponto de vista de qualidade e funcionalidade do código, quanto no ponto das medições. Neste trabalho, a ferramenta desenvolvida para caracterizar o perfil de carga residencial se mostrou eficiente, logo novas sugestões de estudo podem ser desenvolvidos através do modelo de dados e algoritmos de análise desenvolvidos.

**Palavras-chave:** redes inteligentes de energia elétrica; *smart meters*, estrutura de dados, Python.

## ABSTRACT

In order to assist in this important line of study, this project proposed an open-source software with important features for handling data generated by smart meters developed in Python. The data used presented relative uncertainty, however the results presented prove that the implemented software is capable of generating important analyzes and leaves the possibility of adding other data, in order to create a system that is capable of predicting and monitoring consumption, both at the point of quality and functionality of the code, as well as at the point of measurements. This work developed an algorithm that proved to be efficient and a valid tool to characterize residential electricity consumption, and proposed new study suggestions that could be developed through the algorithm.

**Keywords:** smart grids; smart meters, data structures, python

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Diagrama de classe do algoritmo desenvolvido.....	16
<b>Figura 2</b> – Classes, subclasses e heranças (linguagem UML).....	22
<b>Figura 3</b> – Associação (linguagem UML) .....	22
<b>Figura 4</b> – Agregação (linguagem UML).....	23
<b>Figura 5</b> – Composição(linguagem UML) .....	24
<b>Figura 6</b> – Diagrama de classe do algoritmo desenvolvido.....	25
<b>Figura 7</b> - Linhas de códigos da classe “ <i>Days</i> ” .....	25
<b>Figura 8</b> - Linhas de códigos da classe Household - trecho para cálculo dos dias mais representativos.	26
<b>Figura 9</b> - Linhas de códigos da função para cálculo da distância.....	26
<b>Figura 10</b> - Proporção de plugs com medições não nulas por household durante o período analisado..	27
<b>Figura 11</b> - Gráficos das médias de consumo de energia e do dia mais representativo dos dias de semana (segunda a sexta-feira), sábado e domingo - período verão.....	28
<b>Figura 12</b> - Gráficos das médias de consumo de energia e do dia mais representativo dos dias de semana (segunda a sexta-feira), sábado e domingo - período inverno.....	29
<b>Figura 13</b> - Gráfico barras consumo por plug medido em intervalo de tempo de 5 minutos - Household 02 - Dia mais representativo dos dias de semana – verão.....	30
<b>Figura 14</b> - Gráfico barras consumo por plug medido em intervalo de tempo de 5 minutos - Household 02 - Dia mais representativo dos dias de semana – inverno.....	30
<b>Figura 15</b> - Gráfico barras consumo por plug medido em intervalo de tempo de 5 minutos - Household 02 - Dia mais representativo dos sábados – inverno.....	30
<b>Figura 16</b> - Gráfico barras consumo por plug medido em intervalo de tempo de 5 minutos - Household 02 - Dia mais representativo dos domingos – verão.....	31

**Figura 17** - Gráficos das médias de consumo de energia e do dia mais representativo dos dias de semana (segunda a sexta-feira), sábado e domingo - período inverno. ....31

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Características das instalações dos plugs inteligentes nas residências.....	19
--	----

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2. OBJETIVO</b> .....	18
<b>3. MATERIAS E MÉTODOS</b> .....	19
3.1. Obtenção de dados.....	19
3.2. Características dos dados.....	19
3.3. Análise de dados.....	21
3.4. Diagrama de classes.....	21
3.4.1. <i>Linguagem de Modelagem Unificada (UML)</i> .....	21
3.4.2. <i>Diagrama de classe do algoritmo desenvolvido</i> .....	24
<b>4. RESULTADOS</b> .....	27
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	32
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	33
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	34

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de energia elétrica é considerado uma das áreas de destaque do mercado, devido à grande demanda existente da energia elétrica na sociedade atual (IEA, 2019), além de ser um setor que está em constante mudança e em iminência de grandes transformações tecnológicas de larga escala (DOS SANTOS, 2019). A produção, o consumo de energia renovável, automação, gerenciamento do consumo de indústrias, comércios e residências, mobilidade elétrica, investimentos em digitalização de redes elétricas de média e baixa tensão, ademais de novas tecnologias de armazenamento e geração de energia descentralizadas são alguns exemplos de tendências para o setor de energia elétrica mundial (GALLOTI, 2021).

Essas grandes transformações tecnológicas, são reconhecidas e conceituadas como “3D de energia: descarbonização, descentralização e digitalização”. A descarbonização, é a necessidade de implementação de medidas de economia e racionalização de consumo energético e incremento importante da cota de energias renováveis, reduzindo o uso de combustíveis fósseis. A descentralização, atrelado ao movimento de investimentos em novas fontes de energia, é o processo de rompimento do setor com o modelo centralizado de geração de energia, tornando a rede de distribuição mais eficiente, capaz de alcançar uma rede maior de consumidores, participação de novos geradores e novas fontes de energia. E o terceiro conceito, a digitalização, que traz a modernização, automação, inovação e novos sistemas de administração da rede de energia, e também, permite o maior controle de dados em tempo real tanto para a distribuidora e comercializadoras, quanto para os consumidores (GALLOTI, 2021; SOUTAR, 2021).

Em relação a digitalização (LIU *et al.*, 2021), as características de flexibilidade, digitalização e automação do setor elétrico, depara-se com as redes modernas, que utilizam o conceito de “*Smarts Grids*” (redes inteligentes) que são capazes de fornecer fluxo de informações em sentido bidirecional, realizar integração do sistema elétrico com as tecnologias de informação, comunicação e pelo uso do gerenciamento da resposta à demanda que coordenam os veículos elétricos plugáveis, fontes de energias renováveis e cargas elétricas (DEILAMI *et al.*, 2011). As *smarts grids*, atualmente estão sendo bem reconhecidas e desenvolvidas, devido a importância do desenvolvimento sustentável das megacidades no futuro, ainda há grandes desafios no desenvolvimento de dispositivos inteligentes, sistema de comunicação, segurança cibernética, gerenciamentos de dados e de *softwares* que merecem atenção e estudo (revisto por BISHNOI & CHATURVEDI, 2021).

Os sistemas de comunicação das *smart grids* podem ser padronizados ou descritos pelo modelo aberto de interconexões de sistemas (do Inglês, *OSI: Open Systems Interconnection*), desenvolvido pela *International Organization for Standardization* (ISO) em 1978, o qual foi dividido em duas partes, sendo a primeira as camadas de aplicação, apresentação, sessão e transporte; e a segunda as camadas de *network*, dados e físicas. Esse modelo funciona em forma hierárquica, sendo atribuídas tarefas a todas as sete camadas, porém cada camada é responsável por executar suas tarefas atribuídas e transferi-las à próxima camada para processamento, como mostrado a seguir (retirado de ZIMMERMANN, 1980):

1. Camada Física: Fornece características mecânicas, elétricas, funcionais e de procedimento para estabelecer, manter e liberar conexões físicas.
2. Camada de Link de Dados: Fornece meios funcionais e procedimentais para estabelecer, manter e liberar conexões físicas entre entidades.
3. Camada de Rede: fornece meios funcionais e processuais de transferência de dados de uma fonte para um *host* de destino localizado em uma rede diferente, mantendo a qualidade de serviço exigida pela camada de transporte. Por exemplo: os roteadores;
4. Camada de Transporte: suporta a transferência transparente de dados entre os usuários finais fornecendo serviços de transferências de dados confiáveis para as camadas superiores;
5. Camada de Sessão: estabelece uma seção de comunicação entre computadores diferentes definindo o modo de transmissão de dados e colocando marcações nos dados transmitindo com o intuito de restabelecer a seção caso ocorra alguma falha de rede;
6. Camada de Apresentação: converte o formato de dado recebido a partir da camada de aplicação para o formato de dado usado na comunicação. Por exemplo, converter um arquivo de texto para um padrão de linguagem, visando padronizar os códigos para caracteres alfanuméricos. Esta camada pode ter outros usos como compreensão e criptografias de dados;
7. Camada de Aplicação: está mais próxima ao usuário final e fornece as aplicações necessárias para estabelecer a interação entre máquina e usuário. Esta camada também disponibiliza recursos para viabilizar a comunicação.

O modelo OSI, adere diferentes protocolos de comunicação sendo importantes na formação de qualquer rede de comunicação. Após cerca de 4 décadas, um novo modelo para o sistema de energia elétrica foi proposto a partir do OSI, por (CESPEDES, 2012), o qual foi

desenvolvido em camadas como um modelo mais completo, ou um modelo de referência, que incorpora e especifica todas as funcionalidades das *smart grids* e possibilita a diferenciação dos projetos de *smart grids* daqueles convencionais do sistema elétrico. As camadas do modelo de referências são as seguintes

1. Camada Física (F): inclui todos os elementos físicos do sistema de potência e todos os equipamentos que operam com variáveis analógicas como geradores, linhas, transformadores, equipamentos de proteção analógico, medidores de energia convencional, transdutores, etc.;
2. Camada de interface (IF): esta camada permite a conexão e transferência de dados entre os elementos físicos e as camadas superiores. Relaciona-se a todos os elementos que permitem avançar da dimensão analógica para a digital. Por exemplo, reporta o estado de elementos físicos tais como aberto/fechado em formato digital (0/1), ou as variáveis de operação digitalizadas (tensão, corrente, potência, etc.);
3. Camada de Comunicação (C): inclui todos os componentes que permitam a troca de dados entre os elementos da *smart grids*. Compõe-se dos mecanismos que permitem a comunicação, por exemplo, os protocolos usados para enviar mensagens para as camadas superiores. Sustenta-se por roteadores e outros dispositivos de comunicação, e suporta vários meios para transferência de dados como fibra óptica, comunicação na linha de potência (PLC), micro ondas, etc. todas as formas de comunicação transportam cargas de informação digital;
4. Camada de Sistema (S): corresponde ao conjunto de dispositivos e aplicações que coletam dados das camadas de comunicação, interface e física. Esta camada inclui as funções de processamento de dados (cálculos básicos), geração e gerenciamento de alarmes, eventos, logs e coleta de dados históricos;
5. Camada de Modelo (M): compõe a representação abstrata dos elementos das camadas do sistema, comunicação, interface e física para permitir análise e simulação pelas camadas superiores. O modelo pode ser tão detalhado quando é exigido, e é normalmente documentado por linguagens específicas como a linguagem de modelagem unificada;
6. Camada de Análise (A): inclui todas as funções e aplicações para suportar as tomadas de decisões do operador usando dados em tempo real ou históricos da camada do sistema;

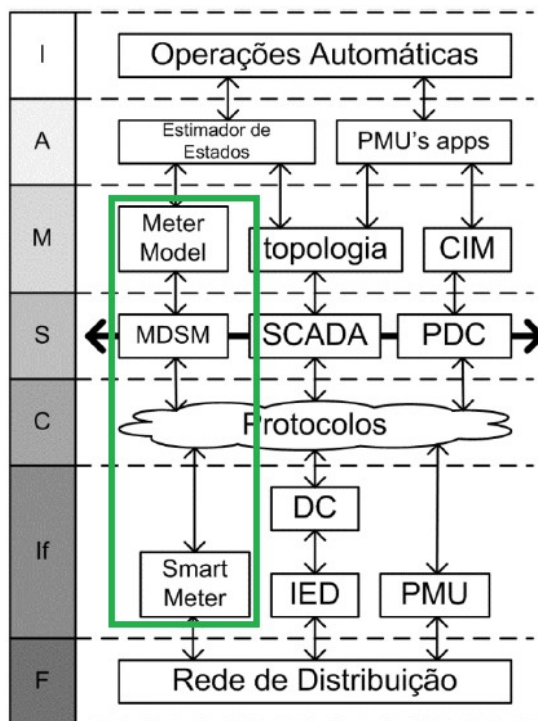
7. Camada de inteligência (I): é o mais alto nível do modelo de referência da *smart grids*. Ela inclui aplicações avançadas de processamento de dados, tais como mineração de dados e processos altamente automatizados, que não exigem intervenção humana. Esta última camada coleta dados de vários sistemas e aplicações complexas para converter isso em informações e decisões. A camada de inteligência inclui funções como a operação de rede automática, proteção avançada adaptativa e aplicações de controle.

Todo esse sistema faz parte de toda a cadeia de energia elétrica, o que possibilita integrações em diversos tipos de equipamentos, tecnologias de comunicação e tratamento de dados e se destacam pela modernização e transformação das redes de energia em estruturas inteligentes. É um sistema capaz de realizar integrações entre cada etapa do sistema elétrico de potência, ou seja, na geração, transmissão e distribuição de energia, tornando-se hábil no fornecimento de energia, em condições de uso normal, para o usuário final (DILEEP, 2020).

Para ser considerado um processo eficiente, esse sistema deve ter capacidade de descobrir, diagnosticar e interferir nos erros, detectar falhas e interrupções de energia. Os dispositivos de medição inteligentes, nomeados e reconhecidos do Inglês como “*smart meters*”, estão sendo utilizados para ajudar nesse processo, estes são capazes de medir energia elétrica com a combinação de tecnologias e aplicativos avançados interligados com um sistema de rede inteligente, incluindo *hardware*, *software* e sistemas de calibração (AVANCINI *et al.*, 2017).

Os *smart meters* são medidores avançados capazes de coletar, monitorar e gerar dados de consumo de energia em tempo real e, em seguida, transferir essas informações para um servidor em nuvem para fins de visualização e análise, o que é essencial, pois transfere com eficiência as leituras do medidor e os sinais de controle do sensor com segurança (HASSAN *et al.*, 2022). Entre eles, encontra-se as tecnologias de comunicação assistida por métodos de comunicação sem fio os quais transmitem informações entre as fontes de alimentação e os medidores, e propõe uma integração do tradicional “*grid*” de eletricidade com sensores, dispositivos de campo automatizados, medidores inteligentes, tecnologias de comunicação e informação, o que contribui na automação da infraestrutura de produção, transmissão, distribuição e uso de energia elétrica (KUZLU *et al.*, 2013). Na Figura 1, alguns componentes do sistema de gerenciamento da distribuição são organizados de acordo com o modelo de referência. Em destaque, estão os componentes da infraestrutura avançada de medição, tais com os *smart meters*, sistema de gerenciamento dos dados de medição (do Inglês, *Meter Data Management System* – MDSM) e modelos de medição.

**Figura 1.** Destaque do sistema de medição no modelo de referência



Fonte: Própria do autor

A utilização dos *smart meters* traz como benefícios, além do controle em tempo real já mencionado, o processamento de dados advindos de cada usuário (residência ou indústria) que faz com que as distribuidoras de energia possam rastrear ligações irregulares na rede elétrica e agir sobre as mesmas, podendo até mesmo cessar remotamente o fornecimento de energia para um determinado ponto (AVANCINI et al., 2019). Esses medidores quantificam o consumo de energia elétrica em quilowatt-hora (kWh), que é a quantidade de energia necessária para alimentar uma carga com mil watts de potência durante uma hora, e os dados são armazenados de acordo com cada instituição, porém logram de um abrangente conjuntos de dados que podem variar de acordo com o perfil, recursos e funções (por exemplo: tempo de uso, perfil de carga etc.) das cargas elétricas e podendo ser interpretados em diferentes intervalos, obtendo-se assim, uma previsão de carga do sistema, importante para o desenvolvimento de infraestrutura (geração e distribuição), operação e gestão do fornecimento e planejamento econômico (revisto por REZAEIMOZAFAR et al., 2022).

Essa previsão de carga, é capaz de identificar as condições dos aparelhos da rede de energia elétrica e as condições de operação de aparelhos individuais com base na análise da carga composta medida a partir de um medidor de energia principal, a partir dela as informações

geradas podem ser utilizadas para formular estratégias de plano de geração de energia e desenvolvimento de um sistema elétrico de energia (HOU *et al.*, 2021).

A identificação dessas condições requer um monitoramento de carga que pode ser obtido através de técnicas de monitoramento de carga, definido por HART (1992), como intrusivo (ILM), que fornece dados precisos e refere-se ao uso de dispositivos ou procedimentos que realizam medições através de vários sensores, sendo um para cada equipamento analisado, e, o, não intrusivo (NILM) que realiza a medição junto ao ponto de entrada de energia (painel do medidor ou quadro geral), utilizando apenas um dispositivo para realizar a medição e a aquisição de dados, devido a necessidade de menos componentes de instalação e requisitos de espaço menores há menor custos que o ILM, onde se tem um *hardware* complexo, que necessita do acesso físico às cargas, ou seja, apresenta um alto custo de instalação.

O conjunto gerado dessas medições, podem fornecer conhecimentos de consumo e benefícios tanto para o consumidor, quanto para o sistema de gerenciamento pelas variadas possibilidades de análises, acarretando no uso de energia de forma consciente, proporcionando ganhos no consumo e distribuição, na educação de consumo e redução de gastos, além de evitar o desperdício de recursos naturais e contribuir para sustentabilidade, ou seja, quanto maior o conhecimento e feedback do uso de energia, mais eficiente será o uso e planejamento dos recursos de energia (LI & LIU, 2013).

Há diversos estudos (revisto por JAYACHANDRAN *et al.*, 2021), relacionados à demanda de uso de energia elétrica de uma população, que pode trazer características socioeconômicas, habitacionais, demográficas, regionais e relação com o clima e ambiente, além de trazer projeções de demanda global de eletricidade no consumo total de energia em um determinado período de tempo e de investimento médio anual local ou global no setor de energia (AIE, 2019).

Alguns desses estudos focam na compreensão da demanda de energia em tempo real (WANG *et al.*, 2015) na identificação do perfil de consumo de energia e na frequência de uso de equipamentos (ZEYNAL, *et al.*, 2013) e utilizam as informações dos consumidores, dos transformadores e dos modelos de carga mais exatos e precisos a fim de contribuir para tomada de decisões apropriadas com a análise do comportamento da rede elétrica e perda de energia elétrica, que entende-se pela diferença na quantidade de energia injetada no sistema de distribuição e do que é cobrado, podendo ser por perdas técnicas associadas a problemas na dissipação de energia no sistema ou perdas não técnicas que variam de reações externas ao sistema de potência e são mais difíceis de detectá-las.

Lembrando que os sistemas de medição inteligente com *smart meters* enfatiza os aspectos relacionados, principalmente, com o consumidor e as mudanças no seu comportamento que podem aumentar consideravelmente a eficiência energética (ZHENG *et al.*, 2013). Este fator, pode ser devido ao impacto de propagação de informações que os próprios consumidores compartilham ao adquirir experiência sobre o seu próprio consumo, provocando o consumo consciente sobre o uso com incentivo na redução dos gastos na conta de energia.

Trabalhos recentes relacionados ao sistema de medição inteligente têm como objetivo melhorar o gerenciamento de recursos da rede elétrica e apoiar as decisões do sistema de proteção, além de poderem ser disponibilizados e processados por órgãos gerenciadores de energia para realizar as operações de despacho econômico. Em vista disso, este trabalho propõe criar um algoritmo para análise de dados de energia elétrica gerado por *smart meters* que seja capaz de cooperar no avanço e desenvolvimento da mensuração de energia elétrica.

## 2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal analisar dados de consumo de energia elétrica medido por *smart meters* e implementar um *software* capaz de caracterizar o perfil de consumo de energia elétrica de consumidores residenciais. Para atingir o objetivo principal, têm-se a realização das seguintes metas específicas:

- Estudo do sistema de medição inteligente no contexto das *smart grids*, como apresentado na seção introdutória deste trabalho;
- Compreensão e verificação do banco de dados de medição, para identificar tipos específicos de dados e seus agrupamentos como atributos em entidades de consumo de energia elétrica;
- Entendimento da linguagem de modelagem unificada (do Inglês, *Unified Modeling Language* – UML) para dar suporte a definição da estrutura dos dados e algoritmos através dos diagramas de classe;
- Implementação dos modelos de dados e algoritmos de análise de dados usando a linguagem de programação Python, que possibilita a geração de gráficos e tabelas descritivas da base de dados em estudo.

### 3. MATERIAS E MÉTODO

A metodologia utilizada consiste, primeiramente, na descrição da base de dados analisada para caracterização das cargas eléctricas. A compreensão da estrutura de dados desenvolvida e melhor entendida através de conceitos fundamentais da linguagem UML como definição de classes e relações entre elas. Subsequentemente, a rápida revisão de UML são apresentados os modelos de dados e estrutura dos algoritmos em linguagem Python.

#### 3.1.Obtenção de dados

Os dados foram obtidos, em formato csv, do *dataset* de código aberto ECO (do inglês, *Electricity Consumption and Occupancy*), pertencente ao projeto *Smart meters Services* (BECKEL *et al.*, 2014; KLEIMINGER *et al.*, 2015). Os dados consistem de informações de 6 residências suíças monitoradas durante o período de 12/06/2012 até 31/01/2013. Foram disponibilizados medições totais da tensão, corrente e ângulo de fase por residência, medições de potência ativa de equipamentos selecionados - ambos medidos com frequência de 1 Hz - e informações de ocupação.

#### 3.2. Característica dos dados

Os dados utilizados para a análise, foram os de potência ativa que foram coletados de forma não intrusiva (especificados por equipamentos) sendo que cada residência possui variação de eletrodomésticos conectados à plugs inteligentes conforme apresentado abaixo:

**Tabela 1.** Características das instalações dos plugs inteligentes nas residências

Household 01	Household 02	Household 03	Household 04 <sup>9</sup>	Household 05	Household 06
Cafeteira	Exaustor de ar <sup>2</sup>	Cafeteira	Cafeteira <sup>7</sup>	Cafeteira	Cafeteira
Secadora	Lava-louça	Entretenimento <sup>6</sup>	Entretenimento <sup>6</sup>	Entretenimento <sup>6</sup>	Entretenimento <sup>6</sup>
Freezer	Entretenimento <sup>3</sup>	Freezer	Freezer	Fonte de água <sup>10</sup>	Geladeira
Geladeira	Freezer	Geladeira	Geladeira	Geladeira	Chaleira
Chaleira	Geladeira	Chaleira	Lâmpada <sup>8</sup>	Chaleira	Lâmpada
Computador <sup>1</sup>	Chaleira	Computador	Laptop	Micro-ondas	Laptop <sup>13</sup>
Máquina de lava roupa	Lâmpada <sup>4</sup>	Tablet	Micro-ondas	Computador <sup>11</sup>	Roteador <sup>14</sup>

Household 01	Household 02	Household 03	Household 04 <sup>9</sup>	Household 05	Household 06
	Laptop		Tablet	Tablet	
	Tablet				
	Fogão <sup>5</sup>				
	Televisão				
	Aparelho de som				

\* Estas características podem ser encontradas nas funções auxiliares do projeto NILM-Eval para mais detalhes.

Os números sobrescritos na Tabela 1, de 1 a 14, referem-se à captação de energia dos plugs, os quais podem ter mais de uns eletrodomésticos conectados a um plug, como indicado abaixo:

1. Conectado o roteador junto com computador;
2. O exaustor de ar está localizado acima do fogão. Foi implantado um plugue para identificar quando os habitantes cozinham, pois o fogão não pode ser conectado a um plugue inteligente;
3. O sistema de entretenimento consiste em um sistema estéreo e uma televisão. Foi retirado, manualmente, os plugues de televisão e aparelho de som. Por esta razão, somando o consumo desses plugues o consumo é igual ao do entretenimento. Exceto durante 08/09/2012 e 31/01/2013 - neste período, apenas a televisão foi conectada ao plugue entretenimento;
4. Esta é uma lâmpada regulável, cujo consumo de energia depende da sua configuração;
5. Foi extraído, manualmente, o consumo de energia do fogão utilizando o fato de queo fogão ser o único aparelho que consome energia em duas fases ao mesmo tempo (o que significa que é possível detectar eventos de comutação investigando o consumo de energia medido em diferentes fases ao mesmo tempo);
6. Entretenimento integra a televisão e o aparelho de som;
7. No plugue de medição da máquina de café estava também conectados à máquina de fazer pão e à torradeira;
8. Lâmpada no porão: acionada por detector de presença;
9. Além da geladeira da cozinha (01) e do freezer (05), há outra geladeira na casa, que não monitoramos com tomada inteligente;
10. A fonte de água funcionava através de uma bomba ao longo do dia, e foi iluminada da 19h às 22h;

11. Conectado roteador, microcomputador e impressora;
12. Não foi medir o freezer com um plugue inteligente, pois ele se localizava no porão, muito distante dos outros plugues;
13. Conectado a impressora junto com o *laptop*;
14. Conectados dois roteadores e um microcomputador.

### 3.3. Análise de dados

Para o desenvolvimento do algoritmo e etapas de análise, foi utilizado a linguagem de programação Python, uma linguagem interpretada e orientada a objeto (POO) que confere capacidade de programar problemas reais através de classes que fazem sentido físico, denominadas de concretas, que se relacionam por interfaces e classes abstratas.

A linguagem é atualmente conhecida por sua grande facilidade de manipulação, tratamento e visualização de dados por conta de bibliotecas como: *Pandas*, *Numpy*, *Matplotlib*, *Seaborn*, *Scipy*, *TensorFlow*, entre outras. Exceto as duas últimas, que estão relacionadas a modelos estatísticos, todas as outras bibliotecas são fortemente utilizadas juntamente com a biblioteca *Datetime* - importante para tratamentos de datas.

### 3.4 Diagrama de classes

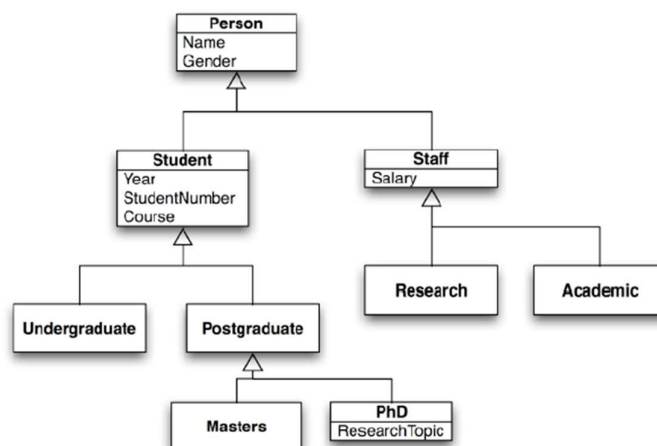
#### 3.4.1 Linguagem de Modelagem Unificada (UML)

A linguagem UML foi concebida com o conceito de classes e subclasses. É importante mencionar que a subclasse de uma classe tem as mesmas características da classe e além disso, pode ter suas próprias características. A seguir, são mostrados exemplos de classes e subclasses e da herança entre as mesmas.

Como pode-se observar no exemplo da Figura 2, a classe principal é a “*Person*”, sendo que a mesma possui os atributos “*Name*” e “*Gender*”. As subclasses dessa classe são mostradas abaixo, sendo “*Student*” e “*Staff*”. As subclasses mencionadas herdam os atributos de “*Person*”, ou seja, possuem as características “*Name*” e “*Gender*” e além dessas, “*Student*” possui os atributos “*Year*”, “*StudentNumber*” e “*Course*”, os quais não fazem parte da classe “*Person*” e nem da subclasse “*Staff*”. Também, “*Staff*” possui o atributo “*Salary*”, que é único dessa subclasse, herdando os atributos da classe “*Person*”. Vale ressaltar que uma subclasse pode não possuir nenhuma característica própria, somente herdar características de outras,

como é o caso de “*Research*”, que herda todas as características de “*Person*” e “*Staff*”, mas não tem características próprias.

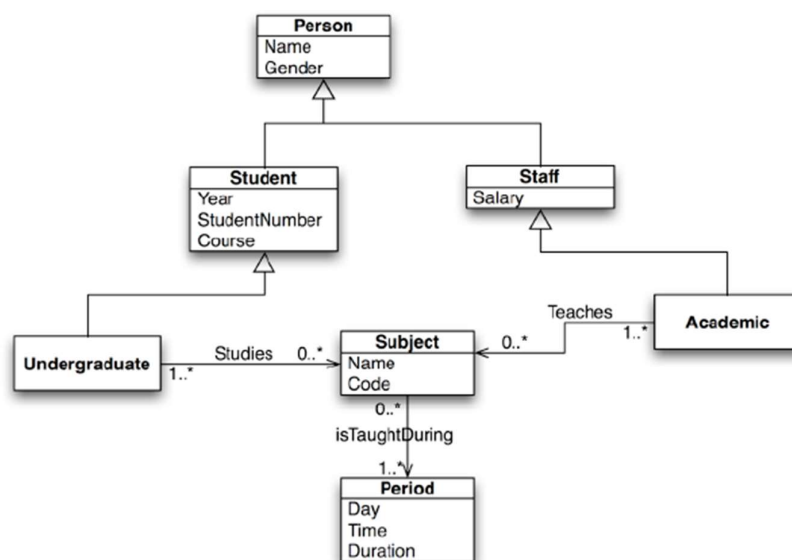
**Figura 2.** Classes, subclasses e herança (linguagem UML).



Fonte: McMORRAN, 2007.

Além da relação de herança, há também uma chamada Associação, que é um pouco diferente. Para melhor entendimento, um exemplo será abordado como base da explicação da Figura 3 que demonstra algumas dessas associações.

**Figura 3.** Associação (linguagem UML).

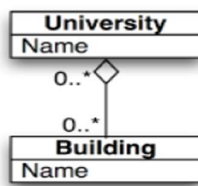


Fonte: McMORRAN, 2007.

As classes “*Subject*” e “*Period*” não herdam as características de “*Person*”, visto que elas só possuem relação com “*Undergraduate*” e “*Academic*”. Uma relação de associação pode ser descrita de seguinte forma: a seta que sai de “*Undergraduate*” e chega em “*Subject*” indica que o estudante universitário cursa a matéria, pois está escrito “*Studies*” na seta. Ou seja, quem está na ponta da seta é o objeto e quem está do outro lado é o sujeito, sendo a ação descrita na seta. Os números que aparem na ponta da seta e no começo da mesma são as multiplicidades. No exemplo citado, pode-se observar que o número “0..\*”, indica que um estudante pode ter zero matérias sendo cursadas ou mais. O número “1..\*”, indica que uma matéria tem um estudante ou mais matriculados.

Outro exemplo de relação entre as classes é a Agregação. Para exemplificar tal relação, também será utilizada uma imagem, como mostrada na Figura 4.

**Figura 4.** Agregação (linguagem UML).



**Fonte:** McMORRAN, 2007.

A agregação consiste em uma relação que mostra que as classes envolvidas não são completamente interdependentes. Na Figura 4, é possível notar que uma universidade e um edifício são agregados, ou seja, um edifício pode fazer parte de zero ou mais universidades, e que a universidade pode conter zero ou mais edifícios (no caso de ser um ensino à distância). Dessa forma, há uma relação de agregação, que é uma relação mais forte que uma simples associação, pelo fato de normalmente uma classe depender da outra para existir, mas as classes envolvidas não são completamente interdependentes, podendo existir sem a presença uma da outra. Por fim, apresenta-se a relação denominada Composição, mostrada na Figura 5.

Seguindo a linha de raciocínio da Agregação, a Composição se assemelha bastante à tal relação, entretanto, pode ser entendida como uma relação mais forte, uma relação de total dependência entre as classes. Por exemplo, a relação entre as classes “*Building*” e “*Room*” é de Composição. Observando a Figura 5 e o índice de multiplicidade, indica que um quarto, uma sala, um espaço, necessita ter uma construção e somente uma. Não é possível um quarto ter mais de uma construção, ou seja, dois prédios diferentes terem o mesmo quarto. Além disso,

um prédio, ou uma construção pode ter um ou mais quartos, ou salas. Dessa forma, entende-se como uma relação mais forte.

**Figura 5.** Composição (linguagem UML).



Fonte: McMORRAN, 2007.

### 3.4.2 Diagrama de classe do algoritmo desenvolvido

Um importante passo para um aplicativo desenvolvido em linguagens de POO, é a definição do *Design Pattern* (em português, padrão de projeto) e conseqüentemente seu diagrama de relação de classes em UML, que está representado na Figura 6, o qual mostra as classes com seus respectivos atributos, métodos e hierarquia na qual foram estruturadas. Nota-se que as classes *Household* e *Plug* foram implementadas através de uma composição da classe de nível lógico mais alto, *Observer*. Conforme recomendação da PEP-8, as classes foram escritas em Inglês com a primeira letra maiúscula.

Figura 6. Diagrama de classe do algoritmo desenvolvido



Fonte: Própria do autor.

Para as classificações de análise, estipulou-se dois eixos principais: estações do ano e dias da semana. As estações do ano foram separadas, apenas, em inverno e verão. E os dias da semana foram separados em três grupos, sendo o primeiro de segunda a sexta-feira, o segundo sábado e o terceiro domingo, partindo do princípio que os dias de semana apresentam comportamentos análogos enquanto os sábados e domingos apresentam comportamentos distintos.

Os métodos da classe *Days* - pode ser visualizado na Figura 7 - foi gerado de forma a permitir flexibilidade em tempo de execução para seleção dos dias a serem analisados. Através dos métodos da classe *Days*, *getDIASDESEMANA*, *getSABADO*, e *getDOMINGO*, combinados com os métodos *getVERAO* e *getINVERNO* com auxílio da estrutura de dicionário.

**Figura 7.** Linhas de códigos da classe “Days”.

```

def getDIADASEMANA(aux_dia_semana, df=periodoCompleto):
    "Segunda = 0, Domingo = 6"
    return df.groupby("DIASEMANA").get_group(aux_dia_semana)

def getMES(aux_mes, df=periodoCompleto):
    return df.groupby("MES").get_group(aux_mes)

def getVERAO(df=periodoCompleto):
    return df.groupby("FLAG_VERAO").get_group(True)

def getINVERNO(df=periodoCompleto):
    return df.groupby("FLAG_VERAO").get_group(False)

def getSABADO(df=periodoCompleto):
    return df.groupby("DIASEMANA").get_group(5)

def getDOMINGO(df=periodoCompleto):
    return df.groupby("DIASEMANA").get_group(6)

def getDIAESEMANA(df=periodoCompleto):
    return df.groupby("FLAG_FDS").get_group(False)

dict_functions = [{"Dias de semana":Days.getDIAESEMANA, "Sábado":Days.getSABADO,
                  "Domingo":Days.getDOMINGO, "Verão":Days.getVERAO, "Inverno":Days.getINVERNO}]

```

**Fonte:** Própria do autor.

Para cada *household*, buscou-se estipular uma curva média para as 6 classificações comentadas e identificar os dias que mais se aproximam (em valor absoluto) das respectivas curvas média, conforme pode ser observado na classe *Household* apresentada na Figura 8 e pela função para cálculo da distância *calcula\_diferenca\_serieDia\_serieMedia* (Figura 9).

**Figura 8.** Linhas de códigos da classe *Household* - trecho para cálculo dos dias mais representativos

```
class Household():
    def DiaMaisRepresentativo(self, df, aux_meteorologia, aux_dia):
        aux_df = df.loc[:,dict_functions[aux_meteorologia](dict_functions[aux_dia]()).DATA]
        aux_media = aux_df.T.describe().loc["mean", :]
        ranks = aux_df.apply(lambda x: calcula_diferenca_serieDia_serieMedia(x, aux_media=aux_media))
        dia_maisRepresentativo = ranks.sum().idxmin()

        return dia_maisRepresentativo

    def gera_DiaMaisRepresentativo(self):
        columns = ["Dias de semana", "Sábado", "Domingo"]
        index = ["Verão", "Inverno"]
        df_diasRepresentativos = pd.DataFrame(data=0, index=index, columns=columns)
        for aux_meteorologia in index:
            for aux_dia in columns:
                df_diasRepresentativos.loc[aux_meteorologia, aux_dia]=\
                    self.DiaMaisRepresentativo(df=self.somaConsumo(minutos=5),aux_meteorologia=aux_meteorologia,
                                                aux_dia=aux_dia)
        return df_diasRepresentativos

    def somaConsumo(self, dia=False, minutos=False):
        if dia:
            return self.consumo
        if minutos:
            aux_df = pd.DataFrame(data=0, index=range(round(86400/(60*minutos))), columns=Days.periodoCompleto.DATA)
            for i in range(self.qtdePlugs):
                aux_df = aux_df + self.plugs[i].somaConsumo(minutos=minutos)
            return aux_df.astype(float)
```

**Fonte:** Própria do autor.

**Figura 9.** Linhas de códigos da função para cálculo da distância.

```
def calcula_diferenca_serieDia_serieMedia(serie_dia, aux_media):
    df_aux = abs(aux_media - serie_dia)
    return df_aux
```

**Fonte:** Própria do autor.

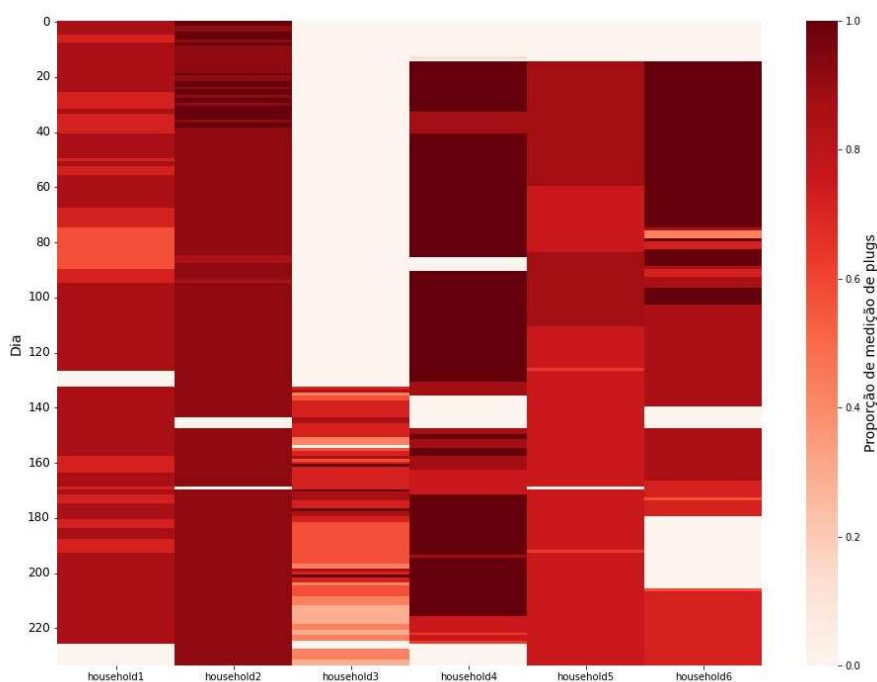
Com finalidade de redução de recursos computacionais e melhor visualização, definiu-se que ao invés de utilizar para a análise 86400 medições diárias, o consumo foi analisado em intervalos de 5 minutos, reduzindo para 288 informações diárias. Vale ressaltar que o método *somaConsumo*, mostrado na Figura 8, tanto da classe *Plug* quanto da classe *Household*, foi construído de forma robusta à alteração do parâmetro *minutos* para qualquer valor (entre 0 e 60) em tempo de execução.

## 1. RESULTADOS

Para análise dos dados das *households*, buscou-se visualizar a quantidade de medições que são nulas ou vazias. Nos metadados, os erros de leituras são indicados como -1.

A Figura 10, representa a proporção dos plugues com medições em diferentes períodos. Foi detectado que a *household 3*, apresentou baixos percentuais de cobertura com cerca de aproximadamente 20,9% de dados. No arquivo de instruções da unidade (03\_doc.txt) encontra-se o seguinte comentário que justifica os erros: “A baixa cobertura se deve ao teto de concreto do subsolo, que prejudicou a conexão de rádio entre o *gateway*”.

**Figura 10.** Proporção de plugs com medições não nulas por *household* durante o período analisado.



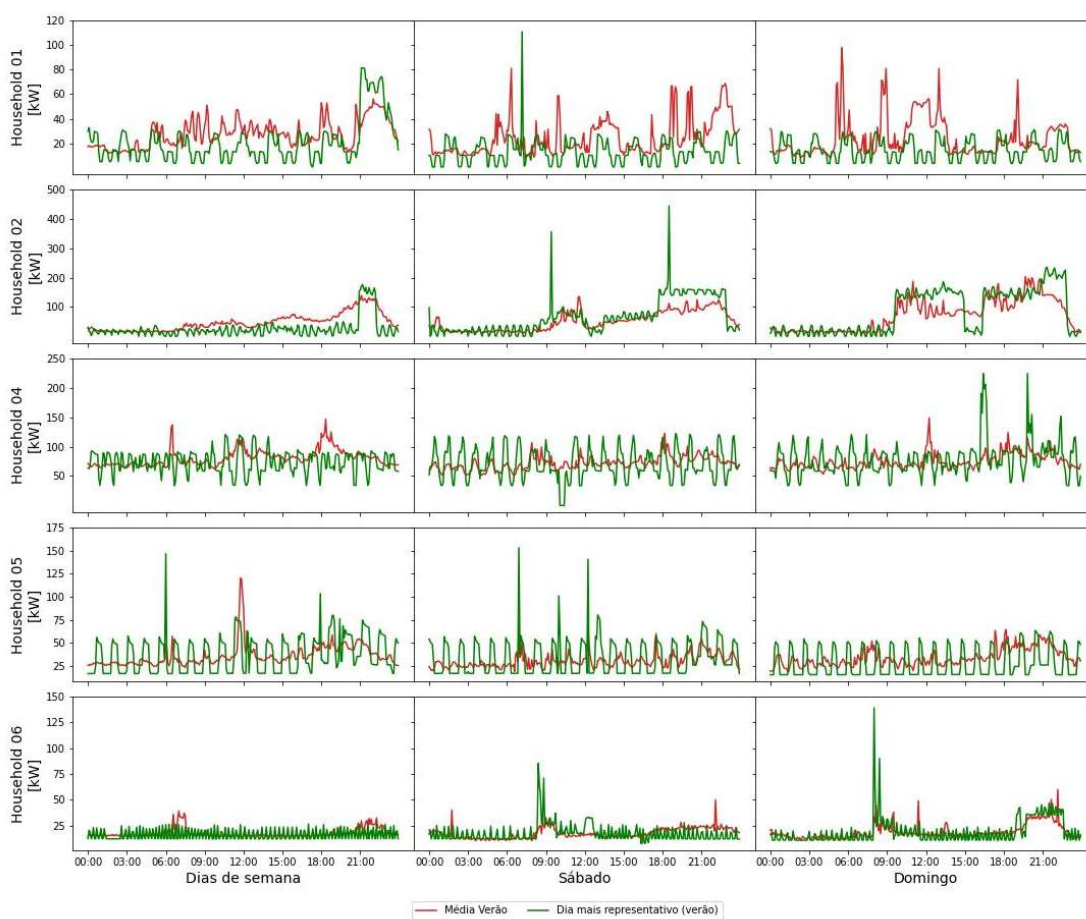
**Fonte:** Própria do autor.

Portanto, optou-se em excluir a *household 3* das próximas análises, principalmente nas confecções dos gráficos para que as demais *households* fossem melhor visualizadas.

As Figuras 11 e 12, representam o primeiro objetivo gráfico do trabalho, onde almejou-se compor o gráfico das médias de cada um dos 6 grupos (Verão/Inverno; Dia de semana/Sábado/Domingo) com o seu respectivo dia mais representativo para cada *Household* em análise. O grande valor é a diferença de característica entre a curva sintética e uma curva que realmente ocorreu. Um comportamento importante em curvas de consumo, são os

consumos intermitente, típicos de dispositivos com ciclos de operação chaveados (ligado/desligado), de alguns equipamentos como geladeira e *freezer* - fato que é mitigado na curva média

**Figura 11.** Gráficos das médias de consumo de energia (verde) e do dia mais representativo (vermelho) dos dias de semana (segunda a sexta-feira), sábado e domingo - período verão.

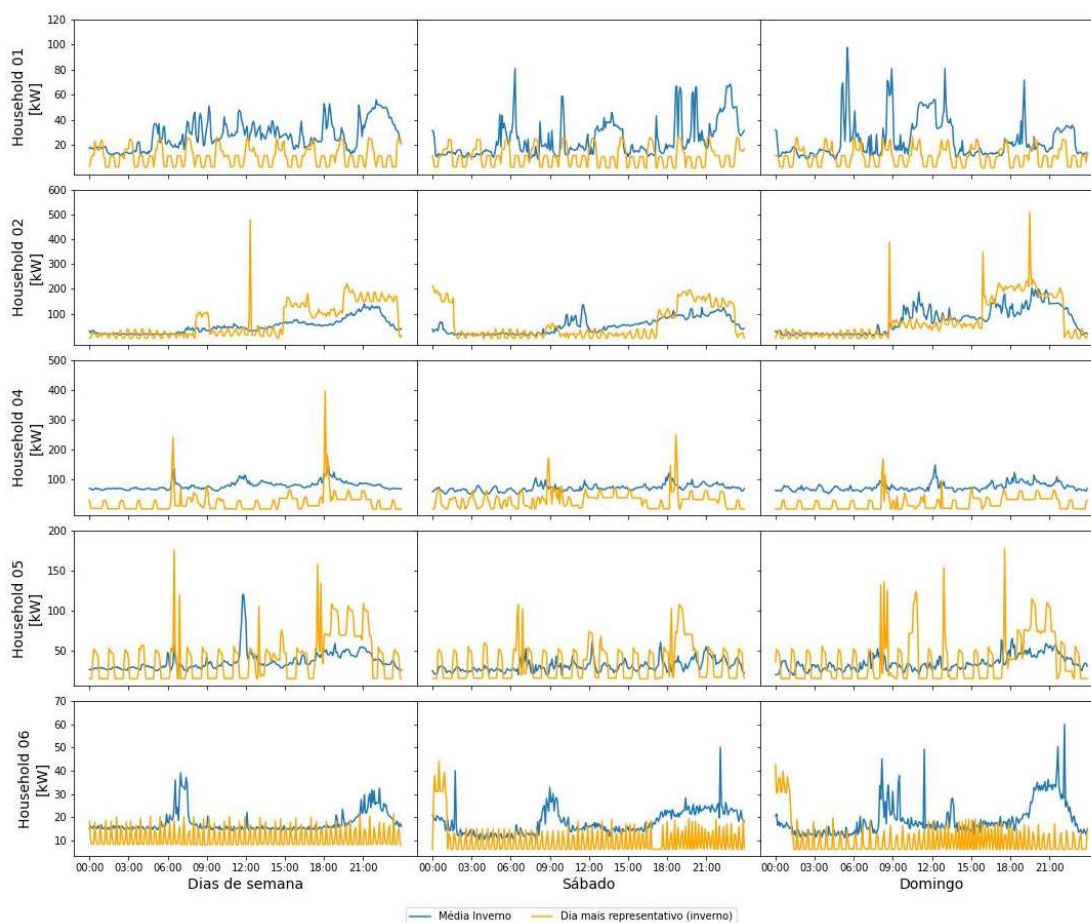


**Fonte:** Própria do autor.

Entretanto, analisando as imagens é possível concluir que a curva média é semelhante à curva do dia mais representativo, principalmente para observação do aumento de demanda no período das 18:00 às 21:00 em praticamente todas as casas, mesmo aos finais de semana.

Após a obtenção deste resultado, designou-se apresentar o gráfico do dia mais representativo do consumo por plugue, conforme apresentado nas Figuras 13-16.as quais tiveram enfoque na *Household 02* visto que esta unidade de consumo apresentou a melhor qualidade dos dado tanto em cobertura quanto coerência.

**Figura 12.** Gráficos das médias de consumo de energia (azul) e do dia mais representativo (amarelo) dos dias de semana (segunda a sexta-feira), sábado e domingo - período inverno.



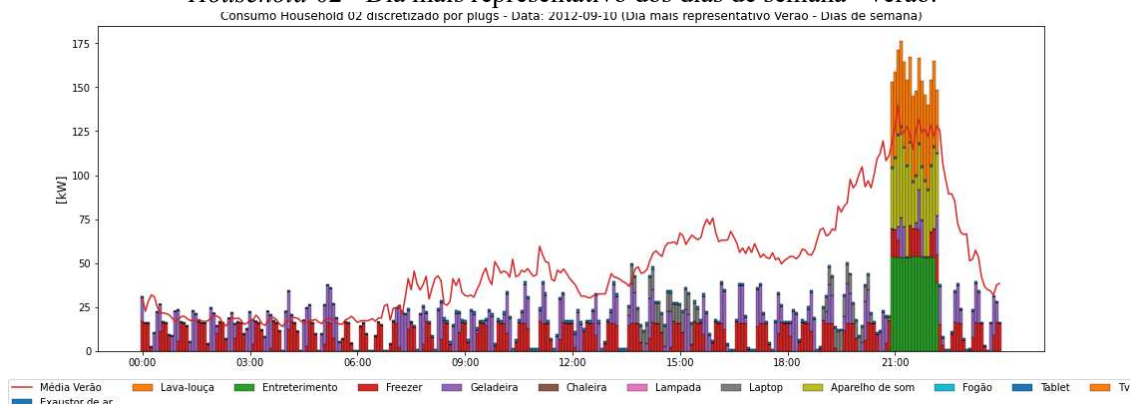
**Fonte:** Própria do autor.

Nas Figuras 13 e 14, foi possível observar apenas consumo de objetos como geladeira e *freezer* que ficam em regime de comutação. Foi possível notar que a média acompanha esse consumo, indicando que esse é realmente um consumo de objetos necessários de uso. No período noturno, muito provavelmente quando os usuários estão presentes na residência, é possível notar um pico de energia - que também é seguido pela média - por volta das 21:00.

Um ponto de destaque da Figura 14, é um consumo da chaleira acima dos 400 kW o que provavelmente indica um ruído ou erro de medição.

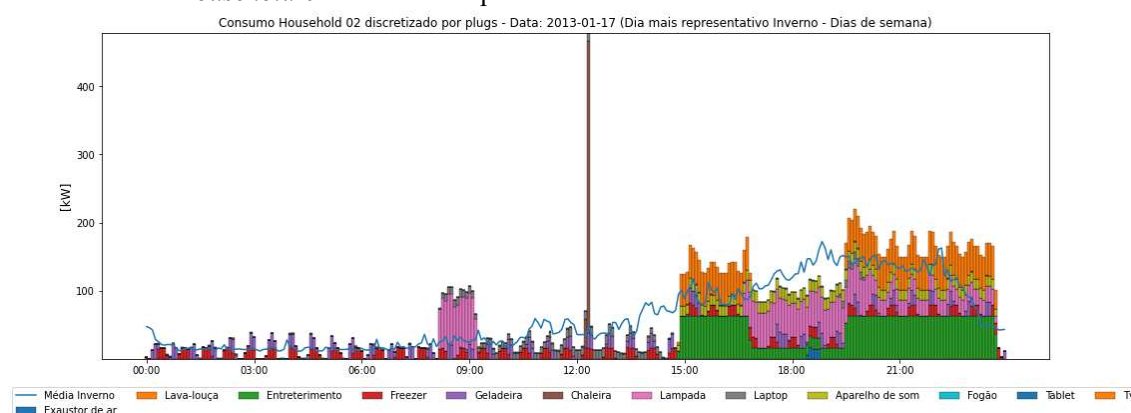
Já as Figuras 15 e 16, apresentam o comportamento da curva para os finais de semana, que é mais elevado por conta dos equipamentos de entretenimento. Principalmente, na Figura 16 que está claro o pico de consumo dos objetos ao longo do dia.

**Figura 13.** Gráfico barras consumo por plug medido em intervalo de tempo de 5 minutos - *Household 02* - Dia mais representativo dos dias de semana - verão.



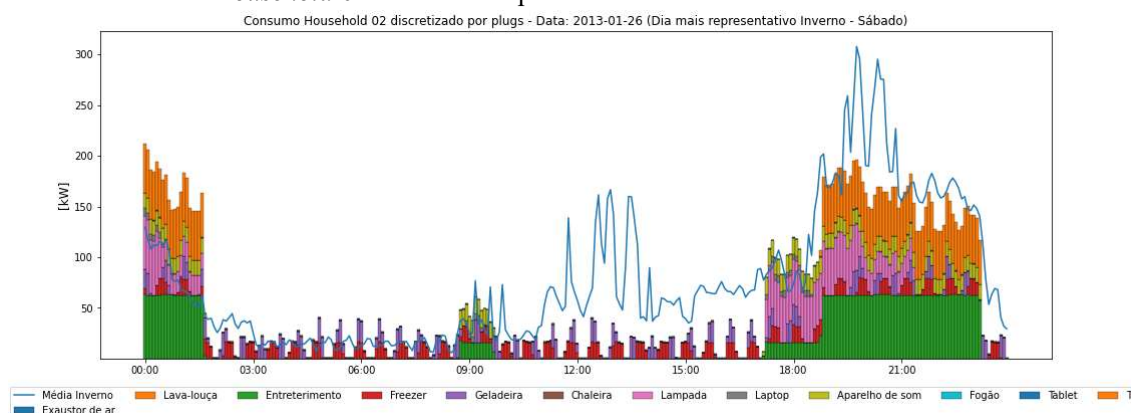
Fonte: Própria do autor.

**Figura 14.** Gráfico barras consumo por plug medido em intervalo de tempo de 5 minutos - *Household 02* - Dia mais representativo dos dias de semana - inverno.



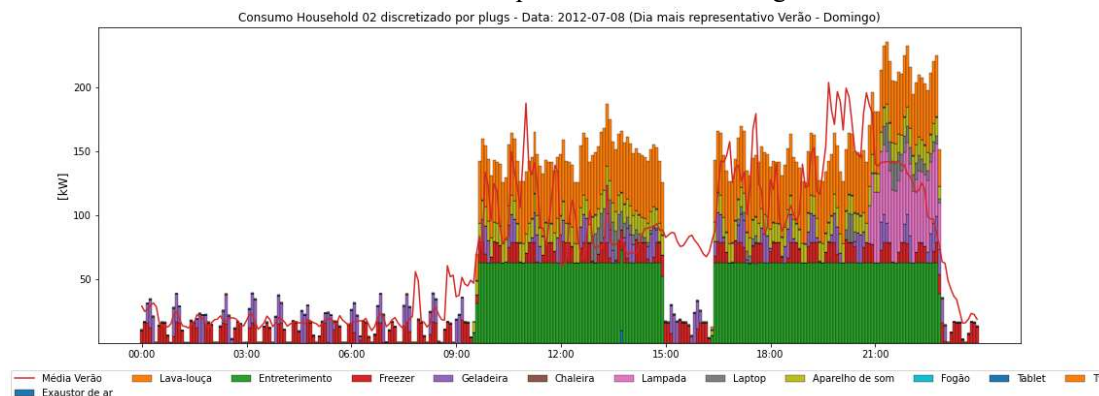
Fonte: Própria do autor.

**Figura 15.** Gráfico barras consumo por plugue medido em intervalo de tempo de 5 minutos - *Household 02* - Dia mais representativo dos sábados – inverno.



Fonte: Própria do autor.

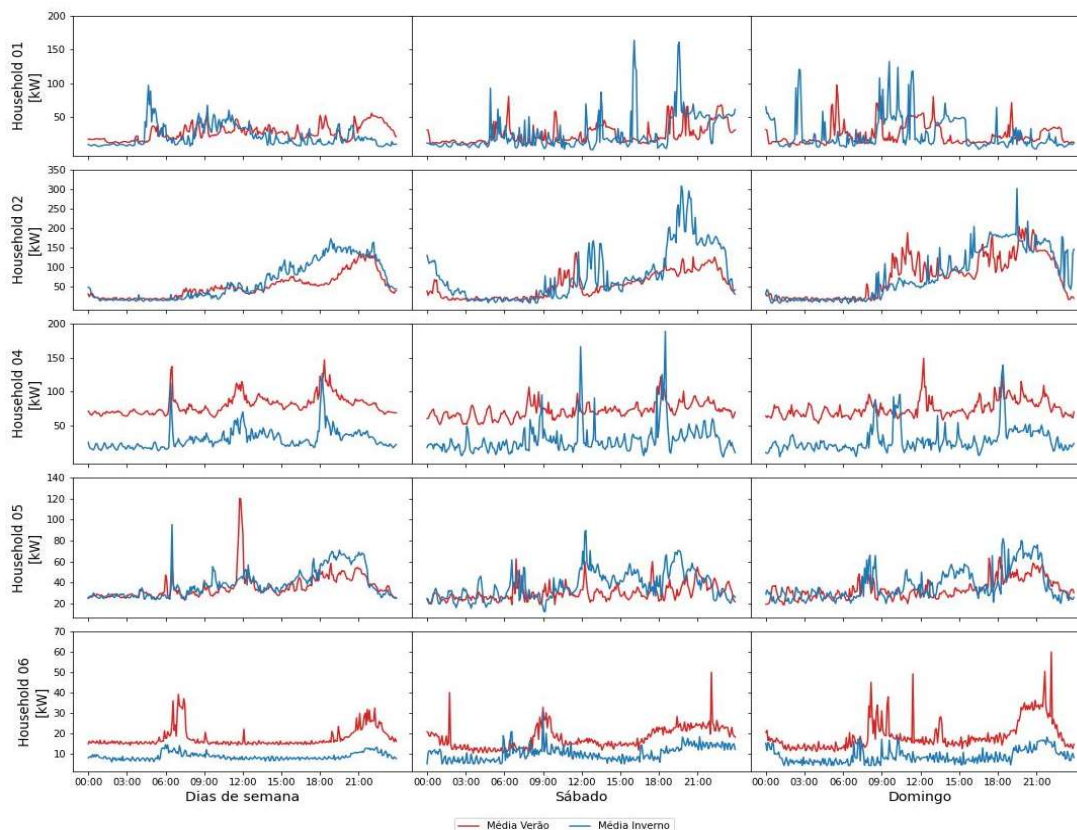
**Figura 16.** Gráfico barras consumo por plugue medido em intervalo de tempo de 5 minutos - *Household 02* - Dia mais representativo dos domingos – verão.



**Fonte:** Própria do autor.

Por fim, foi implementado na função *gera\_painel\_plot\_consumo* a capacidade de plotar as duas curvas médias para as 6 categorias com a intenção de comparar o consumo durante o período de inverno com o período de verão, podendo também, ser gerado qualquer tipo de comparação pelo algoritmo.

**Figura 17.** Gráficos das médias de consumo de energia (azul) e do dia mais representativo (amarelo) dos dias de semana (segunda a sexta-feira), sábado e domingo - período inverno.



**Fonte:** Própria do autor.

## 5. DISCUSSÃO

Neste trabalho, foi desenvolvido um algoritmo que se mostrou capaz de processar arquivos de medição auxiliando na caracterização dos padrões de consumo de energia de residências, a fim de obter informações sobre diferentes períodos. Posteriormente, há a possibilidade da determinação de outros parâmetros descritivos que auxiliem nas análises, como por exemplo: maior consumo de energia dia/noite, verão/inverno, curva de consumo de elemento, perfis de usuário, predição de consumo entre outros.

Dessa forma, esperou-se contribuir para o aperfeiçoamento do monitoramento de carga não-intrusiva, já que a tecnologia se baseia em inspecionar o padrão de consumo de energia de cada eletrodoméstico e, com algoritmos, é possível fazer previsões de consumo total de energia e determinar a taxa de consumo de energia para esses aparelhos de forma individual, pensando em um macro de gerenciamento (FORMBY *et al.*, 2016). O *feedback* dado para o indivíduo sobre o uso, faz com que ele determine quando os eletrodomésticos liguem e desliguem, o tempo de pico de carga na rede, que podem ser identificados e evitados, até mesmo para identificar um aparelho com suposto defeito, já que a energia pode aumentar por isso.

Foi observado também, uma grande variação nos resultados das *households*, que se pode explicar pelo consumo volátil de um indivíduo ou população. Essas variações devem ser analisadas com cautela pelos gerenciadores do sistema elétrico. Entretanto, elas já vêm sendo especuladas nos estudos e introdução de técnicas, por ser sabido os diversos fatores que influenciam na qualidade de energia, avaliação de segurança, diagnóstico de falhas ou previsão de cargas (HASSAN *et al.*, 2022).

Esses estudos, começaram a dar importância no entendimento de previsão de carga em curtos e longos períodos, tal como horas, dias, meses, anos e até décadas. O que pode minimizar os erros de controle dos equipamentos, dinâmica do sistema, erros, custo de operações, custos esperados de investimento e obter uma operação com maior confiabilidade. Gerando melhor automatização, geração e controle no sistema (HONG & WANG, 2022). É também de grande relevância, estudos que interpretavam variáveis, por exemplo, as alterações climáticas (temperatura, velocidade do vento e nebulosidade), composição da carga e tamanho da carga que podem ser interpretadas e diagnosticadas com um algoritmo (HONG & WANG, 2022).

Os algoritmos que estão sendo desenvolvidos podem selecionar grandes variedade de fontes de dados (REDDY *et al.*, 2014; SHARMA & SAINI, 2015; TYAV, *et al.*, 2022). Os *smart meters* realizam leituras de carga a cada hora, ou até mesmo com mais frequência e as condições meteorológicas, atualmente, são cada dia mais avançadas para o entendimento e

monitoramento por milhares de estações meteorológicas *in situ* e satélites, o que contribui diretamente para o gerenciamento do sistema elétrico (HONG *et al.*, 2015). Além de informações demográficas e econômicas que são concebidas de forma de grande escala, o que facilita mais rapidamente o avanço dessas tecnologias.

Esse trabalho abre sugestões de estudos, onde pode ser desenvolvido, a partir do algoritmo criado, um modelo estatístico que seja capaz de realizar inferências de consumos, dado a uma série histórica de arquivos e após, a partir do modelo estatístico identificar os dados que sejam aplicáveis a um sistema conhecido para validar o comportamento do modelo e do aplicativo na prática. Podendo assim, ter um perfil mais completo do perfil dos dados fornecido pelo monitoramento dos *smart meters*, reconhecimento da topologia da rede, erros e segurança do sistema e interferência no gerenciamento da rede para melhor consumo.

## **6. CONCLUSÃO**

Este trabalho desenvolveu um algoritmo que se mostrou eficiente para uma ferramenta válida para caracterizar o consumo de energia elétrica residencial. Em adição, foram propostas novas sugestões de estudo que podem ser desenvolvidos através do algoritmo. Essas novas aplicabilidades incluem a determinação do maior consumo de energia dia/noite, verão/inverno, curva de consumo de elemento, perfis de usuário, predição de consumo entre outros, que deve ser realizado em trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS

- AVANCINI, D.; RODRIGUES, J. J.; MARTINS, J. J.; RABÊLO, R. A.; AL-MUHTADI, J.; e SOLIC, P. *Energy meters evolution in smart grids: A review*. **Journal of cleaner production**, v. 217, p. 702-715, 2019.
- BISHNOI, D & CHATURVEDI H. *A Review on Emerging Trends in Smart grids Energy Management Systems*. **Carbon**, v. 60, p. 65, 2020.
- CESPEDES, R. *A reference model for the electrical energy system based on Smart grids*. In: **2012 Sixth IEEE/PES Transmission and Distribution: Latin America Conference and Exposition (T&D-LA)**. IEEE, p. 1-6 , 2012.
- BECKEL, C., KLEIMINGER, W., CICCETTI, R, STAAKE, T., e SANTINI, S. *The ECO Data Set and the Performance of Non-Intrusive Load Monitoring Algorithms*. **Proceedings of the 1st ACM International Conference on Embedded Systems for Energy-Efficient Buildings**. Memphis, TN, USA, ACM, nov. 2014.
- DEILAMI, S.; MASOUM, A. S.; MOSES, P. S.; e MASOUM, M. A. *Real-time coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grids to minimize power losses and improve voltage profile*. **IEEE Transactions on Smart grids**, v. 2, n. 3, p. 456-467, 2011.
- DILEEP G. *A survey on smart grids technologies and applications*. **Renewable energy**. Feb 1;146:2589-625, 2020.
- DOS SANTOS, A.R. S. V. Implantação de *Smart grids* no Brasil: possibilidades e limitações. **O Comunicante**, v. 9, n. 2, p. 19-28, 2019.
- FORMBY, D.; SRINIVASAN, P.; LEONARD, A. M.; ROGERS, J. D.; eBEYAH, R. A. *Who's in Control of Your Control System? Device Fingerprinting for Cyber-Physical Systems*. In: **NDSS**. 2016.
- GALLOTTI, V. D. M. Redes de energia elétrica inteligentes (*Smart grids*). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e30010918322-e30010918322, 2021.
- HART, G. W. "Nonintrusive appliance load monitoring,". In **Proceedings of the IEEE**, vol. 80, no. 12, p. 1870-1891, dec. 1992.
- HASSAN, A.; AFROUZI, H. N.; SIANG, C. H.; AHMED, J.; MEHRANZAMIR, K.; AND WOOL, C. L. *A survey and bibliometric analysis of different communication technologies available for smart meters*. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 7, p. 100424, 2022.

- HONG, T., WANG, P., e WHITE, L. *Weather station selection for electric load forecasting*. **International Journal of Forecasting**, v. 31, n. 2, p. 286-295, 2015.
- HOU, T.; FANG, R.; TANG, J.; GE, G.; YANG, D.; LIU, J.; ZHANG, W. *A Novel Short-Term Residential Electric Load Forecasting Method Based on Adaptive Load Aggregation and Deep Learning Algorithms*. **Energies**, v. 14,. 22, p.7820, 2021.
- IEA. *Technology Roadmap - Smart Grids*, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-smart-grids>. Acesso em: 02 de julho de 2022.
- IEA. *World Energy Outlook. Paris*, 2019. Disponível em: [www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019](http://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019). Acesso em 02 de julho de 2022.
- JAYACHANDRAN, M.; REDDY, C.; PADMANABAN, S.; e MILYANI, A. H. *Operational planning steps in smart electric power delivery system*. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1-21, 2021.
- KLEIMINGER, W.; BECKEL, C.; SANTINI, S. *Household Occupancy Monitoring Using Electricity Meters*. In: **Proceedings of the ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing**. Osaka, Japan, p. 975-986, September, 2015.
- KUZLU, M.; PIPATTANASOMPORN, M. *Assessment of communication technologies and network requirements for different smart grids applications*. In: **IEEE PES innovative smart grids technologies conference (ISGT)**. IEEE, p. 1-6, 2013.
- LIU, Q.; LI, T.; ZANG, Q.; REN, J.; ZHAO, Y.; e HAO, X. *Research on key technology of 3D digitization for secondary system of power grid based on model application analysis*. In: **Journal of Physics: Conference Series**, p. 012066, 2021.
- LI, Y.; LIU, A. *Analysis of the challenges and solutions of building a smart city*. In: **ICCREM 2013: Construction and Operation in the Context of Sustainability**, p. 1511-1515, 2013.
- REZAEIMOZAFAR, M.; MONAGHAN, R. F.; BARRETT, E.; e DUFFY, M. *A review of behind-the-meter energy storage systems in smart grids*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 164, p. 112573, 2022.
- SOUTAR I. *Dancing with complexity: Making sense of decarbonisation, decentralisation, digitalisation and democratisation*. **Energy Research & Social Science**, v. 80, p. 102230, 2021.
- TYAV, J.; TUFAIL, S.; ROY, S.; PARVEZ, I.; DEBNATH, A.; e SARWAT, A. *A comprehensive review on Smart Grid Data Security*. **SoutheastCon**, p. 8-15, 2022.

- WANG, Q.; ZHANG, C.; DING, Y.; XYDIS, G.; WANG, J.; e OSTERGAARD, J. *Review of real-time electricity markets for integrating distributed energy resources and demand response*. **Applied Energy**, v. 138, p. 695-706, 2015.
- ZEYNAL, H.; EIDIANI, M.; YAZDANPANA, D. *Intelligent Control Systems for Futuristic Smart grids Initiatives in Electric Utilities*. In: **Conference Paper January**, p. 315-319, 2013.
- ZIMMERMANN, H. *OSI Reference Model - The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection*. **Communications, IEEE Transactions on** , v. 28, n. 4, p. 425-432, april. 1980.
- CESPEDES, RENATO. *A reference model for the electrical energy system based on Smart Grids*. **2012 Sixth IEEE/PES Transmission and Distribution: Latin America Conference and Exposition (T&D-LA)** (2012)