



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**  
**COLEGIADO DO CURSO DE ENG. ELÉTRICA**



**João Pedro Caires Ferreira**

# **SIMULOAD: Simulador de Curvas de Carga**

**Orientador: Prof. Dr. André Luiz de Carvalho Valente**

**Salvador-Ba - Brasil**

**30 de Junho de 2023**

**João Pedro Caires Ferreira**

# **SIMULOAD: Simulador de Curvas de Carga**

Projeto apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro(a) Eletricista.

**Orientador: Prof. Dr. André Luiz de Carvalho Valente**

**Salvador-Ba - Brasil**

**30 de Junho de 2023**

**João Pedro Caires Ferreira**

# **SIMULOAD: Simulador de Curvas de Carga**

Projeto apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro(a) Eletricista.

Trabalho aprovado. Salvador-Ba – Brasil, 30 de Junho de 2023:

-----  
**Orientador(a): Prof. Dr. André Luiz de Carvalho Valente**

-----  
**Prof. Dr. W**

-----  
**Prof. Dr. X**

**Salvador-Ba – Brasil  
30 de Junho de 2023**



*Este trabalho é dedicado...*



## **Agradecimentos**

Agradeço por ter saúde...

“Liberdade não é fazer o  
que se quer, mas querer  
o que se faz.”

(Jean-Paul Sartre)





## Resumo

O resumo deve ressaltar o objetivo, o método, os resultados e as conclusões do documento.

Video provides a powerful way to help you prove your point. When you click Online Video, you can paste in the embed code for the video you want to add. You can also type a keyword to search online for the video that best fits your document.

To make your document look professionally produced, Word provides header, footer, cover page, and text box designs that complement each other. For example, you can add a matching cover page, header, and sidebar. Click Insert and then choose the elements you want from the different galleries.

**Palavras-chave:** Word, CCEE, Politécnica.



# Abstract

This is the english abstract.

**Keywords:** Word, CCEE, Politécnica.



## Lista de Figuras

Fig. 1 Sistema de controle.....	25
Fig. 2 Motor.....	28
Fig. 3 Linha de Transmissão.....	29



## Lista de Tabelas





## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

## Lista de Símbolos



# Sumário

Capítulo 1: Introdução.....	1
1.1 Simuload.....	2
Capítulo 2: Objetivos.....	3
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	4
2.2.1 Requisitos Funcionais.....	5
Capítulo 3: Metodologia.....	6
3.1 Desenvolvimento do Software.....	6
3.2 Validação.....	7
Capítulo 4: Especificações.....	8
4.1 Módulos e Ferramentas.....	8
4.1.1 Ferramenta de Interface Visual.....	8
4.1.2 Ferramentas Matemáticas.....	9
4.1.3 Banco de Dados e Armazenamento.....	9
4.2 Mapeamento de Dados.....	12
4.3 Algoritmo de Aleatoriedade.....	13
Capítulo 5: Estudo de Caso.....	16
5.1 Simulando com outros Softwares.....	16
5.2 Aplicação do Simuload.....	19
5.3 Resultados e comparações.....	29
Capítulo 6: Conclusão.....	31
6.1.1 Título da primeira seção do sexto capítulo.....	31
6.1.2 Título da subseção do sexto capítulo.....	32

Referências.....	33
Apêndice A – Código do algoritmo de aleatoriedade.....	34



## Capítulo 1: **Introdução**

Sabe-se que no atual cenário brasileiro no que diz respeito ao consumo de energia elétrica, há uma grande necessidade de estudar formas efetivas de aproveitamento dos recursos e suas distribuições. A população brasileira, de uma forma geral, não faz uso consciente da energia elétrica, pois presume que a capacidade e o potencial energético do país é abundante, sendo seu único freio a fator financeiro. As formas de coletar, mensurar, analisar e utilizar os dados referentes ao consumo de energia são de extrema importância para o país e portanto devem ser abordadas de forma crítica, sobretudo dentro da universidade no curso de engenharia elétrica.

Em uma perspectiva mais geral, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Procel, foi criado pelo governo com intuito de promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício. O programa possui ações que auxiliam na eficiência dos bens e serviços, bem como possibilitam a postergação de investimentos no setor elétrico, reduzindo assim também os possíveis impactos ambientais. Tais ações são fundamentais para a manutenção de um sistema de distribuição eficiente e que vise maior economia e uso consciente dos nossos recursos.

Nessa conjuntura é importante salientar que a simulação de curvas de carga é uma atividade fundamental no planejamento da distribuição de energia elétrica, permitindo que as empresas do setor controlem a demanda de energia de forma eficiente e segura. Com a simulação de curvas de carga, é possível determinar o perfil de consumo de uma determinada rede de distribuição, identificar pontos críticos que podem gerar sobrecargas e avaliar o desempenho da rede em situações de pico de demanda. Ou seja, é parte intrínseca na construção de um planejamento energético eficiente, independente da sua dimensão ou âmbito.

Este é um campo de atuação dentro da engenharia elétrica que permite uma infinidade de possibilidades para o profissional da área. Portanto, é necessário que o estudante, ainda na universidade, tenha contato com ferramentas que contribuam de forma eficiente na sua formação, fazendo com que ele tenha domínio tanto na execução quanto na análise dos dados coletados. A simulação de curvas de carga é uma atividade cujo seus resultados e análises podem ser exploradas tanto no setor público, quanto privado, o que



permite ampliar de maneira ainda mais significativa as possibilidades de atuação dentro do mercado de trabalho.

## 1.1 Simuload

O software Simuload, produto desenvolvido como objeto de estudo deste trabalho, foi pensado e elaborado para ser uma ferramenta importante no aprendizado da simulação de curvas de carga em redes de distribuição de baixa tensão, pois oferece uma maneira eficiente de simular curvas de carga, evitando excesso de trabalho manual e consequentemente conectando o estudante com a parte prática. Durante o estudo de caso feito com o Simuload, foi observada a importância do software no desenvolvimento das habilidades técnicas dos estudantes, que são de extrema importância no campo de atuação da Engenharia Elétrica.

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é apresentar o software Simuload, sua metodologia de desenvolvimento, sua eficácia como ferramenta didática para simulação de curvas de carga em redes de distribuição de baixa tensão, bem como apresentar os resultados obtidos através do experimento. Para isso, o software foi utilizado por uma dupla de alunos em um estudo de caso real, que realizou uma análise dos resultados obtidos através do uso do Simuload na simulação de curvas de carga em uma rede de distribuição de energia elétrica, comparando-os com outros métodos mais tradicionais utilizados para simulação de curvas de carga.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: após esta introdução, será apresentada uma revisão bibliográfica sobre a simulação de curvas de carga em redes de distribuição de energia elétrica, seguida pela descrição detalhada do software Simuload e sua metodologia de desenvolvimento. Com esta pesquisa, espera-se contribuir para o desenvolvimento de ferramentas didáticas eficientes para o ensino de simulação de curvas de carga em redes de distribuição de baixa tensão, promovendo uma formação mais completa e qualificada para os estudantes de Engenharia Elétrica.

## Capítulo 2: **Objetivos**

O capítulo de objetivos tem como propósito definir de forma clara e concisa os resultados almejados com o desenvolvimento e utilização do software Simuload. Neste capítulo, serão apresentados os objetivos gerais e específicos do trabalho, proporcionando uma visão abrangente das metas a serem alcançadas. Os objetivos estabelecidos serão fundamentais para direcionar o desenvolvimento do software e guiar a análise e avaliação dos resultados obtidos.

### 2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar o software Simuload e sua metodologia de desenvolvimento, bem como avaliar sua eficácia como ferramenta didática para a simulação de curvas de carga em redes de distribuição de baixa tensão. Para isso, foram realizadas simulações de curvas de carga em uma rede de distribuição de energia elétrica, utilizando o Simuload como ferramenta principal, a fim de demonstrar sua capacidade de simulação de uma forma didática.

A criação do software Simuload foi motivada pela necessidade da existência de uma ferramenta didática que pudesse auxiliar na simulação de curvas de carga em redes de distribuição de baixa tensão, a ser utilizada sobretudo por estudantes de Engenharia Elétrica. Sua interface foi desenvolvida de maneira que se apresentasse de forma intuitiva e de fácil utilização para os usuários no momento da simulação das curvas de carga, permitindo ao usuário otimizar o trabalho e consequentemente concluir a tarefa de forma mais rápida e eficiente.

Por meio da utilização do Simuload, espera-se que seja possível contribuir para o desenvolvimento de habilidades técnicas importantes para a atuação na área de Engenharia Elétrica. Dentre essas habilidades pode-se destacar: a capacidade de simular e analisar curvas de carga em redes de distribuição de energia elétrica e a capacidade de compreender e aplicar conceitos relacionados à gestão de demanda de energia elétrica, o que é de extrema importância no campo prático de atuação, pois através dos dados obtidos com a simulação o profissional desta área deve ser capaz de planejar maneiras eficientes de lidar com as demandas de consumo.

Com isso, espera-se também que este trabalho possa contribuir para a disseminação do conhecimento sobre a simulação de curvas de carga em redes de distribuição de energia elétrica, bem como para o aprimoramento da formação de estudantes e profissionais da área de Engenharia Elétrica.

Por meio da utilização do Simuload, espera-se que seja possível contribuir com o desenvolvimento de habilidades técnicas importantes para a atuação dos profissionais na área de Engenharia Elétrica.

Por conseguinte, espera-se que este trabalho possa contribuir para a disseminação do conhecimento sobre a simulação de curvas de carga em redes de distribuição de energia elétrica, bem como sua importância para o aprimoramento da formação de estudantes e profissionais da área de Engenharia Elétrica, sobretudo no que diz respeito ao campo prático de atuação.

O objetivo geral é, portanto, avaliar a eficiência e usabilidade do software Simuload para facilitar o processo de estudo e aprendizagem de curvas de carga, e os objetivos específicos visam a identificação de limitações e proposição de melhorias para aprimorar o software.

## 2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho incluem:

- Avaliação da eficiência e usabilidade do software Simuload para a simulação de curvas de carga;
- Identificação de possíveis limitações ou dificuldades no uso do software;
- Proposição de melhorias e aprimoramentos para torná-lo ainda mais didático e útil para fins de aprendizagem.

Para tanto, serão realizadas simulações de curvas de carga utilizando o software Simuload em diferentes cenários, e os resultados obtidos serão utilizados para avaliar a eficiência do software em facilitar o processo de elaboração e estudo de curvas de carga. Além disso, serão realizadas análises para identificar possíveis limitações ou dificuldades no uso do software, de forma a propor melhorias e aprimoramentos que possam torná-lo ainda mais didático e útil para fins de aprendizagem.

### **2.2.1** *Requisitos Funcionais.*

Os requisitos funcionais estabelecidos para o Simuload, os objetivos específicos deste trabalho são

## Capítulo 3: **Metodologia**

Neste capítulo será descrito como o software Simuload foi desenvolvido, incluindo linguagem de programação, ferramentas utilizadas e mapeamento do banco de dados. Além disso, será apresentado o processo de validação da ferramenta, que consiste em avaliar a sua eficácia em simular curvas de carga e atender às necessidades dos estudantes. O Simuload é uma ferramenta desenvolvida para facilitar o processo de elaboração, estudo e aprendizagem de curvas de carga, e a sua metodologia de desenvolvimento é fundamental para garantir a qualidade e eficácia da ferramenta.

### **3.1 Desenvolvimento do Software**

Durante o processo de desenvolvimento do Simuload foram estabelecidos alguns requisitos funcionais com o objetivo de tornar a ferramenta prática e completa para o uso dos estudantes. Esses requisitos foram:

1. Desenvolver botões, telas e gráficos de curva totalmente funcionais, permitindo a criação de simulações de curva de carga de redes de distribuição de baixa tensão de forma simples e intuitiva;
2. Criação de um banco de dados funcional com integridade dos dados das entidades, garantindo a correta representação dos dados utilizados nas simulações de curva de carga;
3. Assegurar a integridade dos dados nas curvas de carga simuladas, verificando a precisão das simulações e a consistência dos resultados obtidos;
4. Incluir modelos de exemplo padrões mapeados do PPH 2019, relatório do Procel, que permitam ao usuário realizar simulações com dados reais e comparar os resultados obtidos com os dados já consolidados;
5. Calcular a faixa de carregamento do transformador, possibilitando a verificação das limitações de carga em um determinado transformador;
6. Permitir a exportação das simulações para um arquivo .CSV, para que os resultados possam ser facilmente analisados e compartilhados.

Esses seis itens foram pensados levando em consideração a experiência vivida nas matérias Laboratório Integrado VI e Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica. Ambas fazem parte da grade curricular do sétimo semestre do curso de Engenharia Elétrica da UFBA e são de extrema importância na formação profissional. Visando maior aproveitamento e crescimento dos estudantes nessa fase crucial do curso, todo o conteúdo e trocas vivenciadas nesses dois componentes curriculares serviram de insumos para o processo de criação do Simuload.

### 3.2 Validação

Após a etapa de desenvolvimento e criação, se fez necessária a validação da efetividade da ferramenta. Para tanto, foi realizada uma avaliação qualitativa do seu uso por uma dupla de estudantes no contexto da disciplina Laboratório Integrado VI. Os critérios avaliados incluíram a facilidade de uso, a clareza dos resultados gerados, a compreensão da interface e a adequação dos modelos de exemplo. A avaliação teve como objetivo identificar pontos fortes e fracos da ferramenta e fornecer subsídios para possíveis melhorias. Os resultados desta avaliação serão discutidos de maneira mais abrangente no capítulo cinco, no qual será abordado o estudo de caso de maneira mais detalhada.

Foi estabelecido um diálogo constante com a dupla de estudantes que foi escolhida para utilizar o software em simulações de curvas de carga, possibilitando maior compreensão e aproximação das reais necessidades dos estudantes durante todo o processo de desenvolvimento. Dessa maneira, houve uma aproximação das funcionalidades do software com as principais necessidades dos estudantes, o que tornou o Simuload uma ferramenta bastante didática e eficaz no que se propõe. Essa abordagem colaborativa foi de extrema importância na criação do software, sobretudo por contribuir com maior efetividade no alcance dos objetivos específicos e consequentemente na no objetivo geral do trabalho.

## Capítulo 4: Especificações

Video provides a powerful way to help you prove your point. When you click Online Video, you can paste in the embed code for the video you want to add.

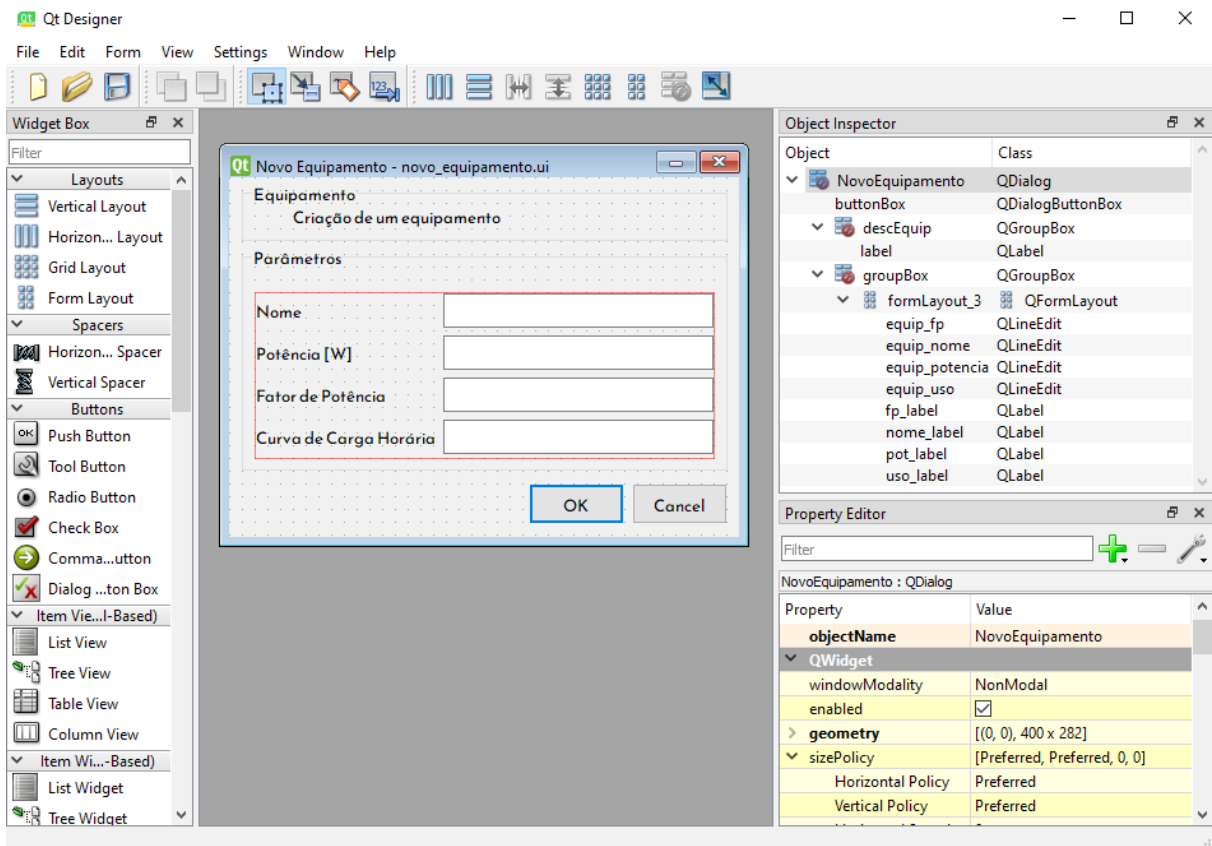
### 4.1 Módulos e Ferramentas

Antes da elaboração do projeto em código, foi realizada uma pesquisa de módulos e ferramentas viáveis para suprir as necessidades do sistema. Foram levadas em consideração suas funcionalidades, facilidade no uso, popularidade e material de apoio disponível.

#### *4.1.1 Ferramenta de Interface Visual*

O processo de desenvolvimento do software Simuload envolveu diversas etapas, dentre as quais se destacam a escolha das ferramentas e tecnologias a serem utilizadas. Para a criação da interface gráfica, optou-se pela ferramenta PyQt 5, que oferece uma vasta gama de recursos para desenvolvimento de interfaces gráficas em Python, incluindo widgets, diálogos e estilos personalizados. A escolha da linguagem de programação Python se deu pelo seu caráter de código aberto, grande comunidade de desenvolvedores, além de sua facilidade de uso e versatilidade.

Através do software Qt Designer, é possível desenhar as telas no formato .ui, definindo todas as suas estruturas e nome das variáveis onde serão inseridos os valores de texto. Com os arquivos .ui em mãos, o PyQt 5 é responsável por transformá-los em código Python, possibilitando a integração das telas com o sistema.



#### 4.1.2 Ferramentas Matemáticas

Para a simulação de gráficos, foi escolhida a biblioteca Matplotlib, que oferece uma ampla variedade de gráficos e recursos de visualização de dados em Python, além de ser fácil de usar e ter uma boa documentação. O Matplotlib foi utilizado para a criação dos gráficos de curvas de carga simuladas pelo software, permitindo a visualização das informações de maneira clara e eficiente.

Os cálculos realizados pelo software foram feitos diretamente pelo Python, utilizando as bibliotecas padrão do pacote, o que permitiu uma implementação mais simples e direta. Para obter os valores distribuídos em intervalos menores de simulação, foi utilizada a biblioteca Numpy, que oferece uma variedade de recursos para processamento de dados numéricos em Python, incluindo a interpolação de dados, que permitiu a obtenção de valores intermediários a partir dos dados de entrada.

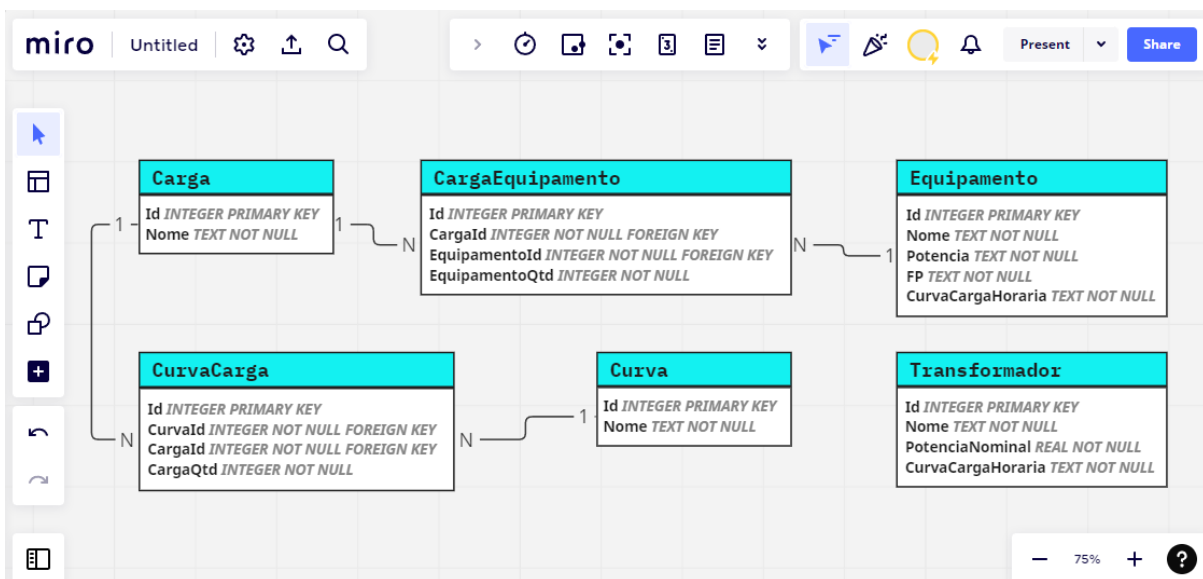
#### 4.1.3 Banco de Dados e Armazenamento

O Simuload utiliza um banco de dados relacional que inclui quatro entidades: Equipamento, Carga, Curva e Transformador. A entidade Equipamento representa os



equipamentos que compõem uma carga em Watts [W]. Já a entidade Carga representa um estabelecimento consumidor em Watts [W], podendo ser uma casa, um galpão, um mercado, iluminação pública, entre outros. A entidade Curva representa a distribuição temporal do consumo de várias cargas e, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica numa região atendida por um transformador. Por fim, a entidade Transformador representa o fornecimento na curva característica de um transformador que atende uma região.

As entidades no banco de dados são relacionadas entre si. A entidade Equipamento tem uma relação de muitos para muitos com a entidade Carga, e para isso existe uma tabela associativa CargaEquipamento que relaciona quais Equipamentos fazem parte de quais Cargas. A entidade Carga tem uma relação de muitos para muitos com a entidade Curva, e para isso também existe uma tabela associativa CurvaCarga que relaciona quais Curvas possuem quais Cargas. A entidade Transformador é independente e possui uma estrutura de demanda distribuída ao longo do tempo, assim como o equipamento. Essas relações permitem que os dados sejam organizados e recuperados de forma eficiente no Simuload.



Para armazenar os dados das simulações realizadas, foi utilizado o banco de dados em memória SQLite, que oferece uma solução simples e eficiente para armazenamento de dados estruturados em Python, além de ser compatível com diversos sistemas operacionais.

simuload.db

SELECT \* FROM CargaEquipamento x Schema Query Editor Auto Reload Find Other Tools... [sqlite 3.40.1](#)

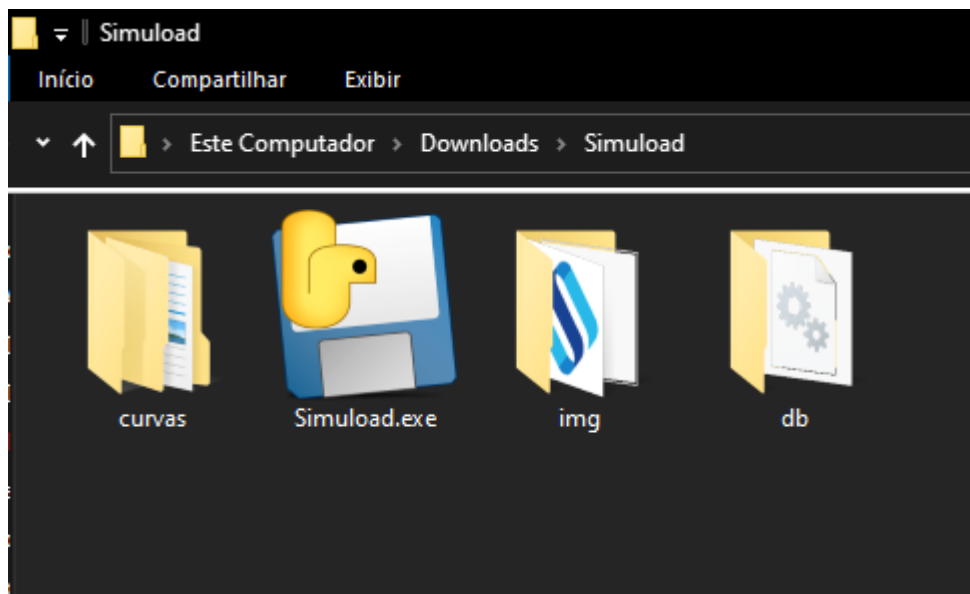
```
CREATE TABLE CargaEquipamento (
    CargaEquipamentoId integer PRIMARY KEY,
    CargaId INTEGER NOT NULL,
    EquipamentoId INTEGER NOT NULL,
    EquipamentoQtd INTEGER NOT NULL,
    FOREIGN KEY (CargaId) REFERENCES Cargas (CargaId),
    FOREIGN KEY (EquipamentoId) REFERENCES Equipamentos (EquipamentoId)
)
```

+ Index + Trigger

	CargaEquipamentoId INTEGER PRIMARY KEY	CargaId INTEGER NOT NULL REFERENCES "Cargas"("CargaId")	EquipamentoId INTEGER NOT NULL REFERENCES "Equipamentos" ("EquipamentoId")	EquipamentoQtd INTEGER NOT NULL
1	63	2	2	1
2	64	2	10	2
3	65	2	3	25
4	66	2	5	2
5	67	2	6	1
6	68	2	8	1
7	69	2	10	2

Para exportar os dados dos gráficos em formato CSV, foi utilizado o módulo csv nativo do Python, além dos próprios métodos utilitários do módulo os que permite a criação de pastas na máquina para organização dos arquivos CSV gerados.

Por fim, para gerar um executável do software, foi utilizada a ferramenta PyInstaller, que permite empacotar o código-fonte e todas as suas dependências em um único arquivo executável, facilitando a distribuição do software para usuários finais. Como o PyInstaller gera os arquivos através do próprio sistema operacional utilizado, as versões de distribuição do Simuload foram geradas em máquinas com sistemas operacionais diferentes, Linux e Windows, para permitir o seu uso nos dois sistemas. O executável é capaz de armazenar as curvas exportadas e reconhecer o arquivo do banco de dados na sua própria pasta, além das imagens de logo do software, sendo essa a estrutura dos arquivos compactados de distribuição para download.



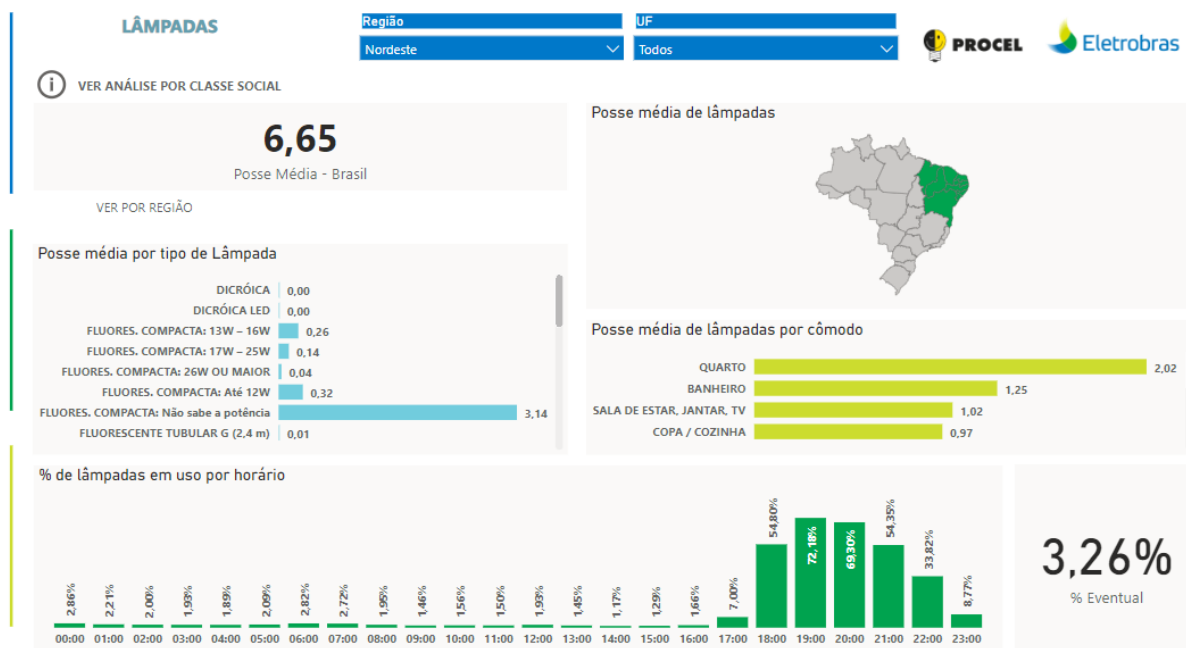
## 4.2 Mapeamento de Dados

Para a coleta de dados utilizados na simulação, foram utilizadas informações retiradas do PPH 2019 do Procel. O Procel é um programa de governo coordenado pelo Ministério de Minas e Energia - MME e executado pela Eletrobras, cujo objetivo é promover a conservação de energia elétrica. A Pesquisa de Posse e Hábitos de Consumo de Energia (PPH) é uma pesquisa declaratória que traça um perfil da posse e hábitos de consumo de equipamentos elétricos e nos setores residencial, comercial e industrial, com o intuito de avaliar o mercado de eficiência energética nas cinco regiões do Brasil.

Os dados utilizados na simulação foram obtidos a partir da PPH, que foi realizada em diferentes regiões do país, o que permitiu a obtenção de um conjunto diversificado de dados de consumo de energia elétrica. As informações foram coletadas através de questionários que perguntavam sobre a posse e uso de diferentes equipamentos elétricos, bem como sobre os hábitos de consumo de energia elétrica em residências, estabelecimentos comerciais e industriais.

Os dados coletados foram utilizados para a definição das características dos equipamentos e cargas presentes na simulação do Simuload, tais como a potência, fator de potência e distribuição horária do uso percentual. Esses dados foram importantes para que as simulações realizadas pelo Simuload fossem o mais próximas possíveis da realidade, permitindo assim que os resultados obtidos a partir das simulações fossem mais precisos e

confiáveis. Foi escolhido o filtro da região Nordeste em todos os dados mapeados para o sistema se aproximar da realidade da UFBA.



### 4.3 Algoritmo de Aleatoriedade

Dentro da metodologia adotada neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), foi desenvolvido um algoritmo de aleatoriedade para representar as curvas de carga em intervalos de tempo menores. Esse algoritmo desempenha um papel essencial no aprimoramento da representação das curvas de carga no sistema Simuload, visando proporcionar uma experiência mais detalhada e realista aos usuários. Isso permite que, a partir de vetores de apenas 24 pontos nos equipamentos, o usuário tenha acesso a simulações com resolução maior sem precisar preencher centenas de pontos para isso.

O algoritmo, implementado em Python, segue uma sequência de passos para a geração de pontos aleatórios que serão adicionados aos vetores de 24 pontos, representando o consumo hora a hora de um equipamento ou a curva de carga horária de um transformador.

Inicialmente, é realizado o cálculo do número de pontos necessários para a interpolação, com base no intervalo desejado. Por exemplo, se o intervalo for de 30 minutos, serão necessários 48 pontos (24 horas divididas em intervalos de 30 minutos). Para esse caso de 48 pontos, cada subintervalo (intervalo de pontos por hora) possui 2 pontos. Em seguida,

é criado um vetor chamado que contém os pontos de intervalo entre 0 e 23, representando as horas do dia.

Dentro de um loop principal, percorre-se cada ponto do vetor de interpolação. Para cada ponto, são realizadas as seguintes etapas:

1. O valor atual do vetor de consumo é atribuído a uma variável que representa a média do subintervalo atual. Esse valor é calculado a partir do vetor de consumo original, que contém os valores de consumo em intervalos de 1 hora.
2. Se o intervalo de interpolação for menor do que 1 hora (por exemplo, 30 minutos), entra-se em um loop adicional para gerar os pontos aleatórios. Caso contrário, pula-se esta etapa.
3. Uma seed única é calculada com base na soma de todos os valores do vetor de consumo original. A seed é um número fixo que, quando definido, garante que os valores aleatórios gerados sejam os mesmos para todas as simulações de uma mesma curva.
4. Um número aleatório é gerado dentro de um intervalo predefinido, representando a variação percentual permitida em relação ao valor base. Neste caso, a variação é definida em até 40% do valor base, positiva ou negativa.
5. Dependendo do índice do ponto no loop, o sinal do valor aleatório gerado é invertido para alternar entre valores positivos e negativos.
6. O valor aleatório gerado é adicionado ao valor médio multiplicado pela porcentagem de variação e dividido por 100. Isso resulta em um valor ajustado que representa o consumo aleatório no subintervalo.
7. Um novo valor médio é acumulado a partir dos valores gerados, pois cada valor contribui para a média total do subintervalo.
8. É calculado um fator de normalização com base na média original e na nova média acumulada. Esse fator é utilizado posteriormente para garantir que os valores não ultrapassem a média original.
9. Os valores do subintervalo são multiplicados pelo fator de normalização para ajustá-los à média original. Se algum valor exceder a média original, ele é substituído pela média e o valor excedente é adicionado ao próximo ponto, mantendo a consistência do consumo total do subintervalo. Caso seja o último ponto do subintervalo, o valor excedente é adicionado ao ponto anterior.

10. O loop continua para o próximo subintervalo até que todos os pontos do vetor de interpolação sejam processados.

Ao final do algoritmo, é retornado um vetor contendo os pontos interpolados da curva de carga, representados em quilowatts (kW). Esse vetor é utilizado para visualizar a curva de carga com maior resolução, refletindo o consumo detalhado dos equipamentos ao longo do tempo. Em algumas simulações, tem-se a impressão de que a curva de carga com intervalos menores tem magnitude menor que a curva simulada para o intervalo de 1 hora. Isso acontece por conta da premissa de que o valor aleatório deve ser sempre menor ou igual ao valor da curva. A implementação completa do algoritmo pode ser encontrada no apêndice.

## Capítulo 5: **Estudo de Caso**

A ferramenta Simuload foi utilizada por alunos em um estudo de caso real, visando mapear uma região com suas respectivas cargas e equipamentos elétricos. Essa atividade é realizada durante a matéria - Laboratório Integrado VI -, no sétimo semestre do curso de Engenharia Elétrica da UFBA. Tal atividade consiste em simular a curva de carga da região e escolher o transformador adequado para atender as condições de demanda de energia elétrica. Essa é uma atividade de suma importância na formação dos estudantes, pois a partir dela é possível ter insumos que irão nortear a necessidade elétrica de um determinado local.

### **5.1 Simulando com outros Softwares**

Para simular os gráficos de curvas de cargas sem o Simuload, geralmente é utilizado um software de planilhas como Microsoft Excel ou Google Sheets. Estes são os recursos comumente usados atualmente pelos estudantes durante o componente curricular Laboratório Integrado VI. No entanto, tal processo acaba sendo muito manual e trabalhoso para o preenchimento dos dados. No intervalo de 5 minutos, por exemplo, são praticamente 300 células de valores preenchidos por intervalo para diversos equipamentos. O consumo dos estabelecimentos são calculados a partir desses valores e utilizados na simulação, comparando com as curvas do transformador conforme mostrado nas figuras abaixo.

Curva de carga

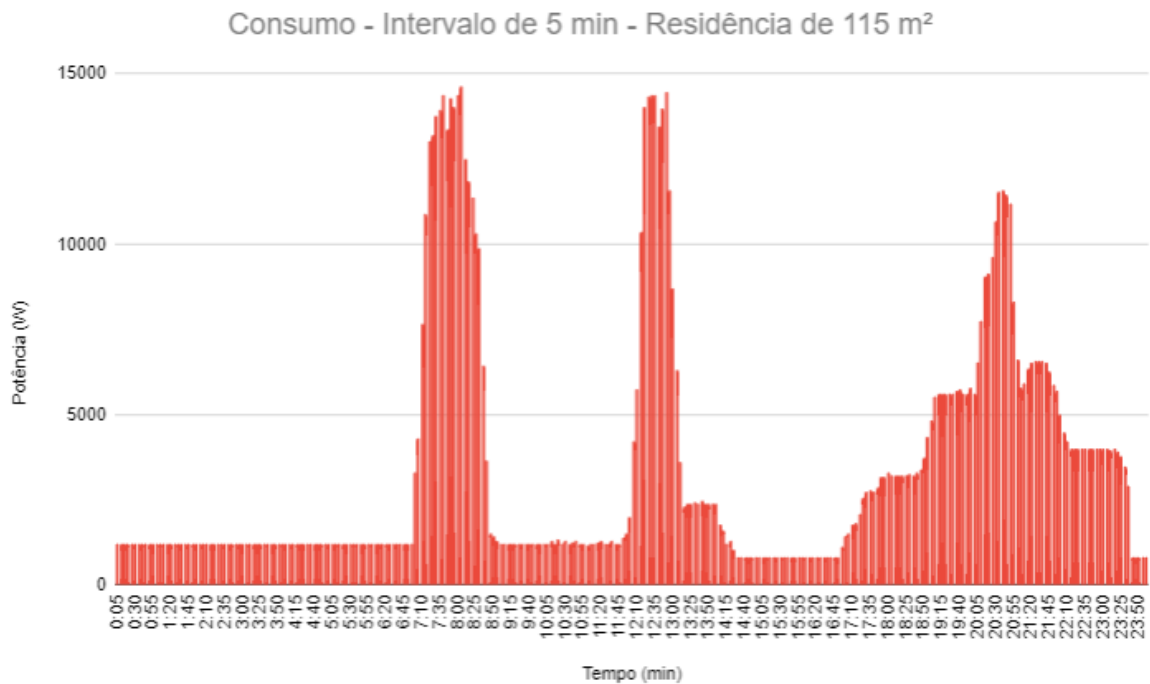
Arquivo Editar Ver Inserir Formatar Dados Ferramentas Extensões Ajuda

100% 123 Padrã... 10 B I A

J262 fx

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Ferro	Chuveiro	Iluminação	Tomadas	Residência 50m	Residência 100m	Residência 115m
243	20:05	0	698	100	102	3234	6162	7774
244	20:10	0	1150	100	100	3650	7000	9050
245	20:15	0	1180	100	100	3680	7060	9140
246	20:20	0	1350	100	100	3850	7400	9650
247	20:25	0	1680	100	101	4198	8093	10680
248	20:30	0	1990	100	100	4490	8680	11570
249	20:35	0	2000	100	100	4500	8700	11600
250	20:40	0	1960	100	100	4460	8620	11480
251	20:45	0	1820	100	103	4374	8439	11180
252	20:50	0	910	100	100	3410	6520	8330
253	20:55	0	345	100	100	2845	5390	6635
254	21:00	211	0	100	100	2711	4911	5811
255	21:05	314	0	100	100	2814	5014	5914
256	21:10	680	0	100	102	3216	5446	6360
257	21:15	910	0	100	101	3428	5643	6550
258	21:20	1000	0	100	100	3500	5700	6600
259	21:25	1000	0	100	100	3500	5700	6600
260	21:30	1000	0	100	100	3500	5700	6600
261	21:35	1000	0	100	98	3464	5634	6520
262	21:40	780	0	100	97	3226	5381	6260
263	21:45	342	0	100	99	2824	5009	5902
264	21:50	120	0	100	100	2620	4820	5720
265	21:55	11	0	100	85	2241	4216	5011

+ 5min 15min 1h industrial comercial iluminacao transformadores

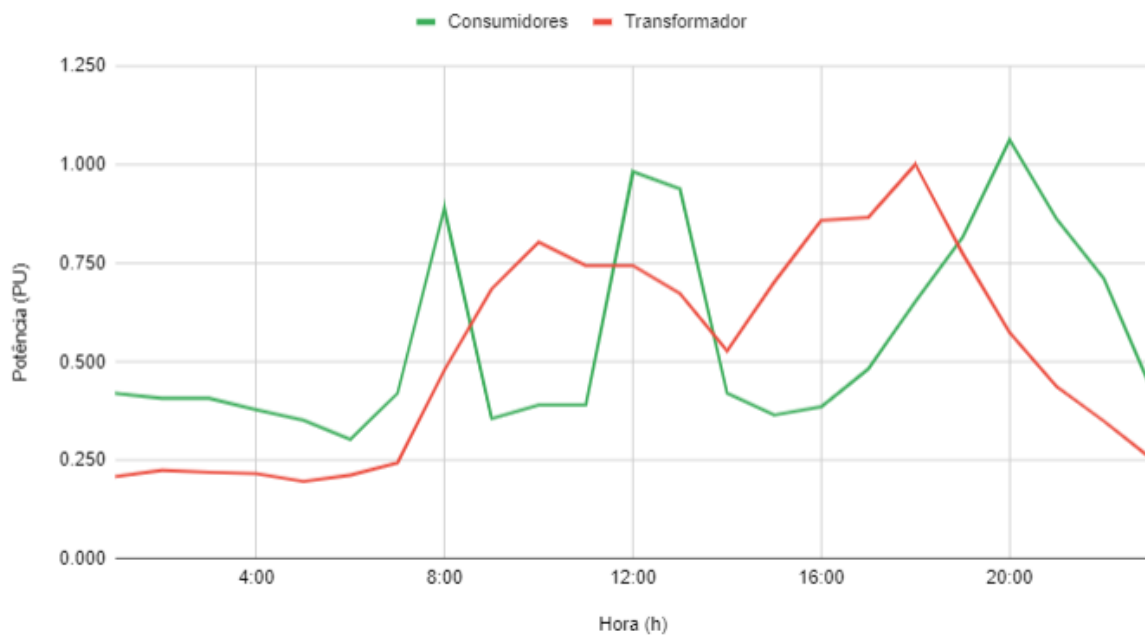




	A	B	C	D	E	F	G	H
1			Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Demanda	Demanda PU	
2		0:00	0.260	0.269	0.366	31700	0.423	
3		1:00	0.209	0.210	0.270	31540	0.421	
4		2:00	0.225	0.230	0.231	30570	0.408	
5		3:00	0.220	0.226	0.218	30570	0.408	
6		4:00	0.217	0.222	0.216	28380	0.378	
7		5:00	0.197	0.202	0.219	26445	0.353	
8		6:00	0.213	0.222	0.233	22740	0.303	
9		7:00	0.244	0.259	0.322	31520	0.420	
10		8:00	0.480	0.480	0.370	66646	0.889	
11		9:00	0.685	0.650	0.313	26730	0.356	
12		10:00	0.803	0.759	0.296	29290	0.391	
13		11:00	0.744	0.707	0.343	29290	0.391	
14		12:00	0.744	0.720	0.418	73620	0.982	
15		13:00	0.673	0.650	0.429	70390	0.939	
16		14:00	0.528	0.511	0.380	31535	0.420	
17		15:00	0.701	0.678	0.351	27420	0.366	
18		16:00	0.858	0.822	0.399	28940	0.386	
19		17:00	0.866	0.841	0.045	36178	0.482	
20		18:00	1.000	1.000	0.660	49000	0.653	
21		19:00	0.775	0.811	1.000	61158	0.815	
22		20:00	0.575	0.602	0.915	79720	1.063	
23		21:00	0.437	0.461	0.797	64670	0.862	
24		22:00	0.350	0.333	0.705	53352	0.711	
25		23:00	0.256	0.265	0.579	32620	0.435	
26								
27		Residencia 50 m²	Residencial 100 m²	Residencial 115 m²	Comercial	Industrial	Iluminação	
28	Quantidade	4	3	0	1	0	2	Somatório Demandas
29	Demanda máxima	5,730	9,065	12448	16500	24500	6000	78615
30	Demanda total	22920	27195	0	16500	0	12000	

+   ≡   5min ▾   15min ▾   1h ▾   industrial ▾   comercial ▾   iluminacao ▾   transformadores ▾

## Demanda X Transformador



## 5.2 Aplicação do Simuload


Realizando a simulação com o Simuload, é possível utilizar os equipamentos e cargas pré-definidos no banco de dados ou customizar novas opções. Dentre os registros pré-definidos, estão os equipamentos com uso diário mapeados pelo PPH 2019 do Procel e potência mapeadas pela norma SM04.14-01.001 12ª edição da Neoenergia. Na tela principal é possível visualizar os comandos de criação de componentes ou simulações de curvas.



Os alunos iniciaram a atividade adicionando os equipamentos na ferramenta. Adicionar, editar ou excluir um equipamento são tarefas possíveis no menu equipamentos. No campo Curva de Carga Horária, podemos definir a distribuição de uso em 24 horas do equipamento seguindo o padrão de números entre 0 e 1 nos colchetes: [1 1 1 1 1 1 1 1 1 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.2 0.2 0.2 0.2].

Após adicionar os equipamentos, foram definidas a potência, o fator de potência e a distribuição horária de uso de cada equipamento. No campo Potência [W] deve ser inserido

um valor numérico que pode ser decimal utilizando um ponto no lugar da vírgula. O Fator de Potência também pode ser decimal mas deve variar entre 0 e 1.



The image shows a software window titled "Equipamentos". At the top right are standard window controls (minimize, maximize, close). Below the title bar is a search bar with a "Procurar" button. The main area contains a list of 12 items, each preceded by a number. At the bottom are three buttons: "Excluir", "Criar Novo", and "Editar".

Item
1 - Freezer
2 - Refrigerador Frost-free
3 - PPH 2019 - Lâmpada
4 - PPH 2019 - Ar-Condicionado
5 - PPH 2019 - Televisor
6 - PPH 2019 - Máquina de Lavar Roupas
7 - PPH 2019 - Chuveiro Elétrico
8 - PPH 2019 - Computador
9 - PPH 2019 - Ferro Elétrico a Seco
10 - PPH 2019 - Notebook
11 - PPH 2019 - Ventilador de Teto
12 - Ar-Condicionado Comercial

**Novo Equipamento**

Equipamento

Criação de um equipamento

Parâmetros

Nome: Notebook

Potência [W]: 250

Fator de Potência: 0.98

Curva de Carga Horária: 0 0 0 0 0 0.2 0.3 0.9 1 1 1 1 0.7 0.6

Cancel OK

Em seguida, eles adicionaram as cargas, que poderiam ser estabelecimentos residenciais, comerciais ou até mesmo iluminação pública. No menu cargas é possível juntar diversas configurações de equipamentos para construir a carga desejada. Na tela de criação é possível adicionar equipamentos unitários (>) ou em lote (>>) selecionando o número desejado logo abaixo. Também é possível remover equipamentos selecionados à direita.

Cargas

Procurar

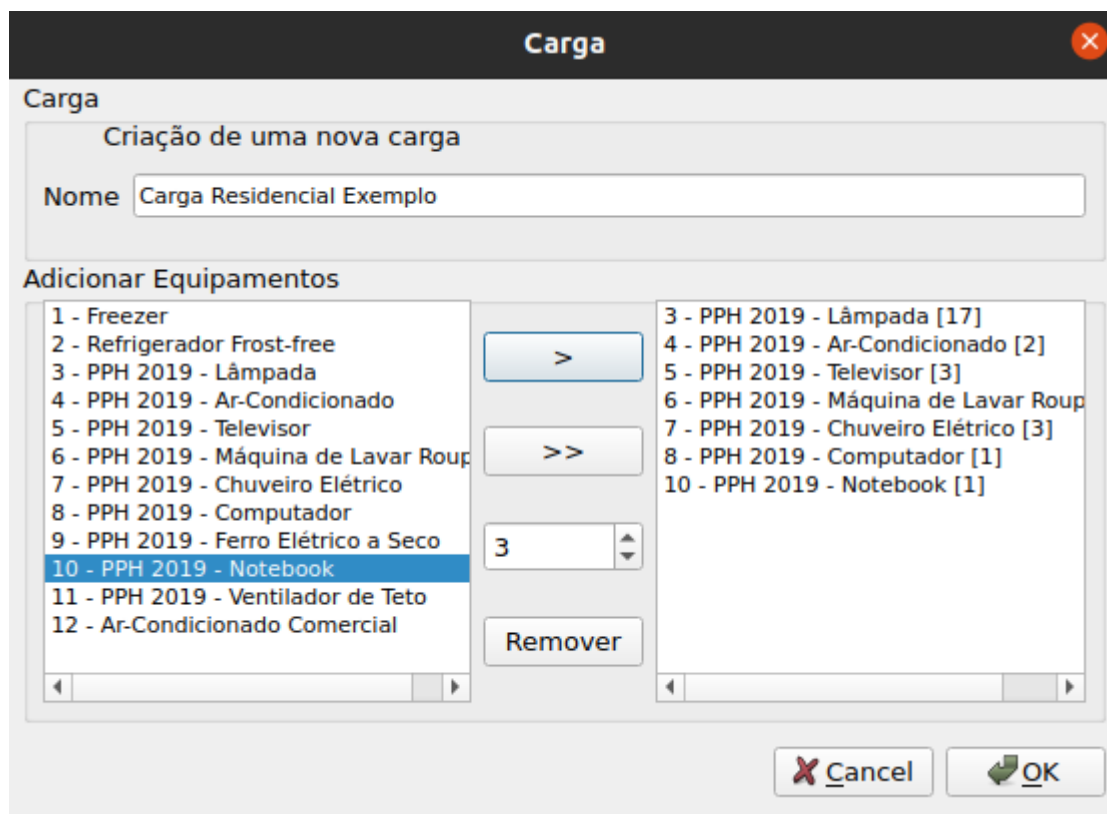
1 - Comercial

2 - Residencial

Excluir

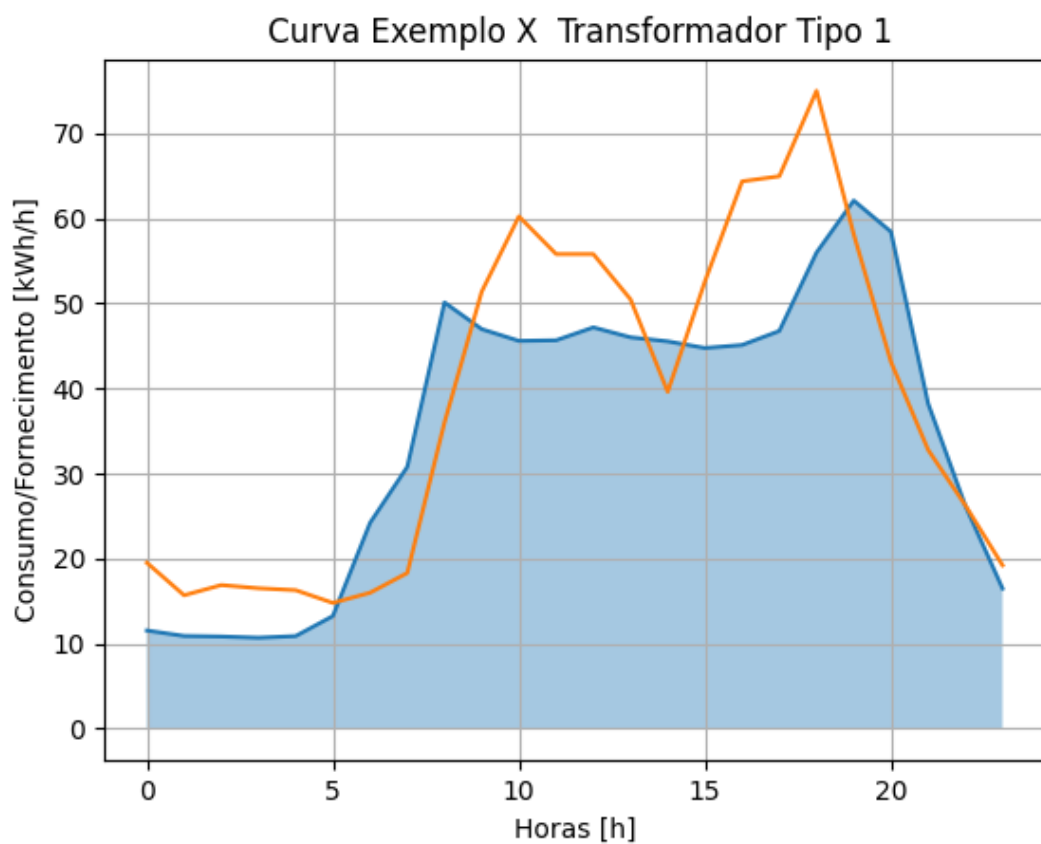
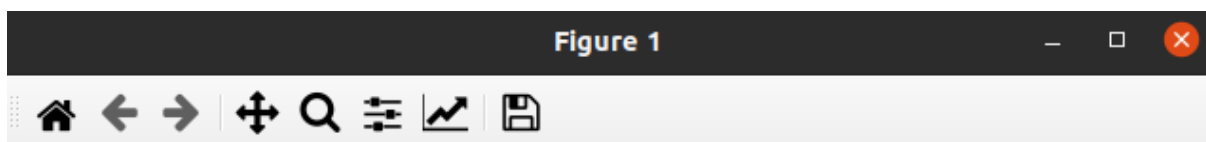
Editar

Criar Nova



A carga era alimentada pelos equipamentos adicionados anteriormente. Após a adição das cargas, os alunos criaram uma curva, que representa a distribuição temporal do consumo de energia elétrica das várias cargas. Essa curva representa o consumo de energia elétrica numa região atendida por um transformador.

Na tela principal é possível editar as configurações para a simulação da curva e criar curvas baseadas nas cargas existentes. Da mesma forma que a janela de novas cargas, as curvas utilizam a estrutura de adição individual (>) ou em lote (>>) das cargas, sendo possível escolher a quantidade do lote adicionado pela numeração abaixo.



Adicionar Curva

Curva

Criação de uma nova curva para simular

Nome

Adicionar Cargas

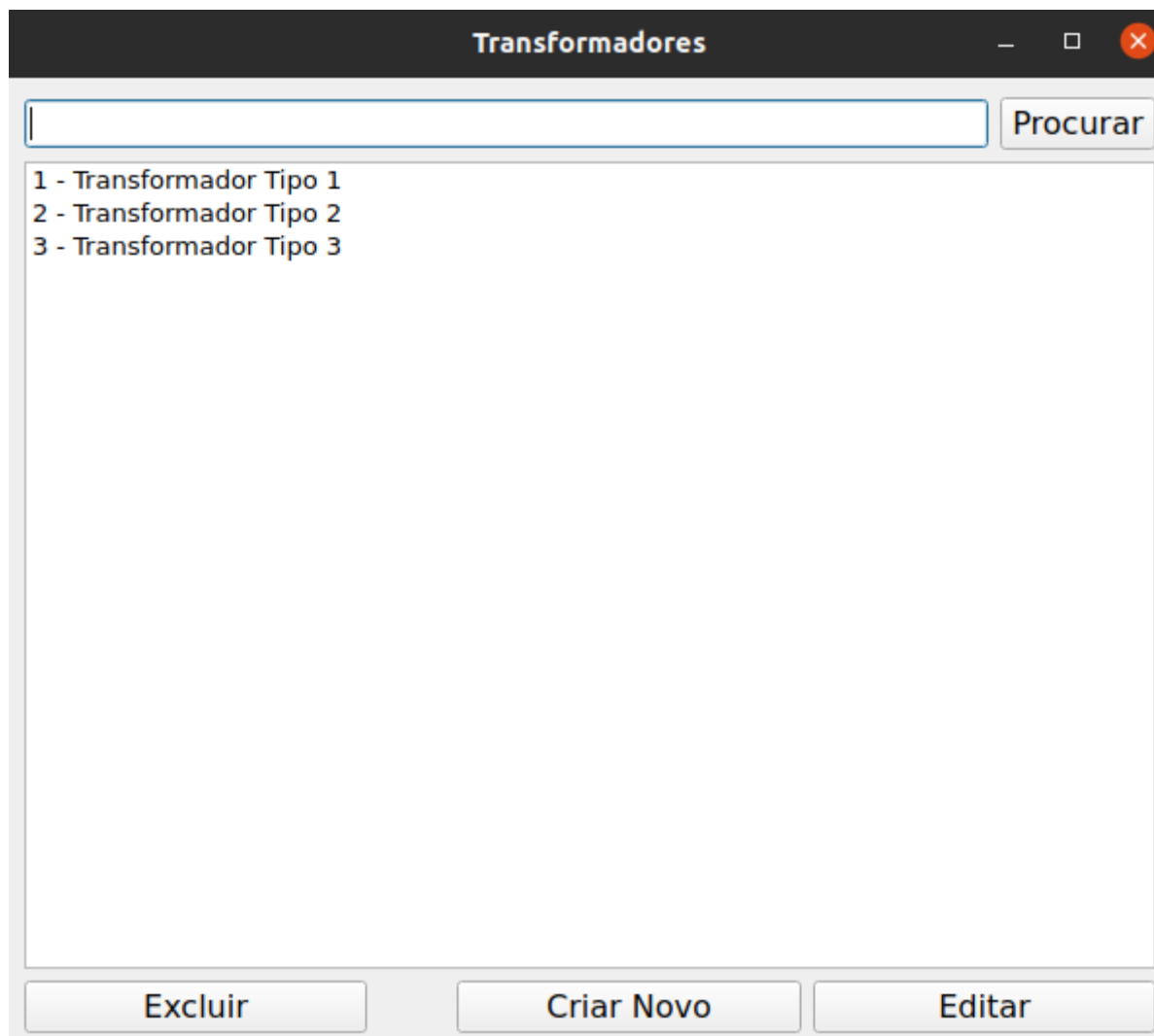
1 - Comercial	>	1 - Comercial [7]
2 - Residencial	>>	2 - Residencial [13]

13

Remover

Cancel OK

Por fim, os alunos criaram um transformador, com Potência Nominal e Curva de Carga Horária, equivalente à curva do equipamento. No menu transformadores é possível criar e configurar transformadores com a mesma estrutura de distribuição de 24 horas dos equipamentos no campo Curva de Carga Horária: [1 1 1 1 1 1 1 1 1 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.2 0.2 0.2 0.2]. A Potência Nominal é representada em Volt-Ampère [VA].





**Novo Transformador**

Transformador

Criação de um transformador

Parâmetros

Nome: Transformador Exemplo

Potência Nominal [VA]: 75000

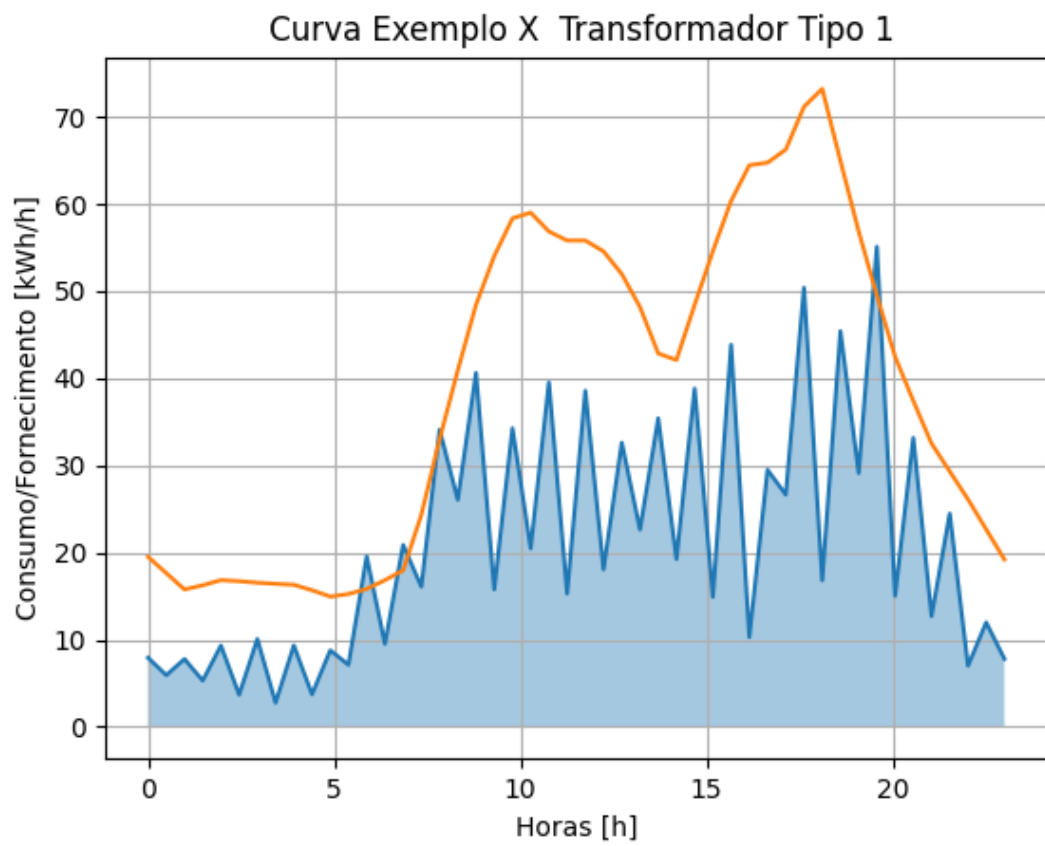
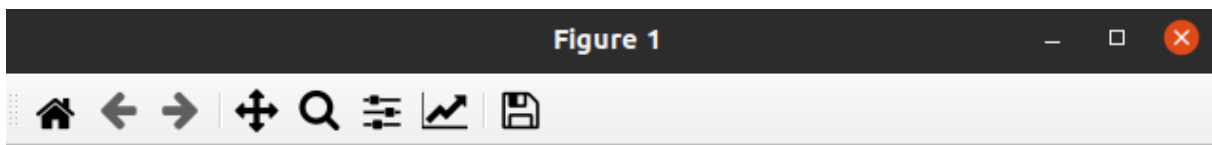
Curva de Carga Horária: 0.95 0.8 0.82 0.87 0.89 0.88 0.8 0.

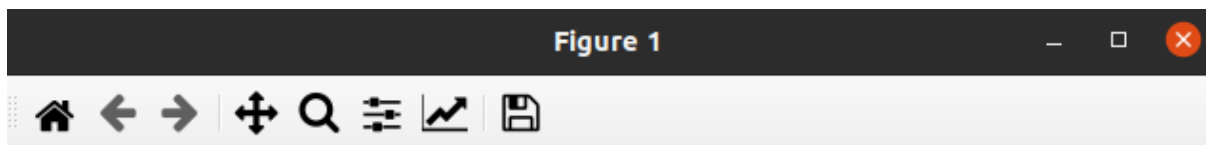
Cancel OK

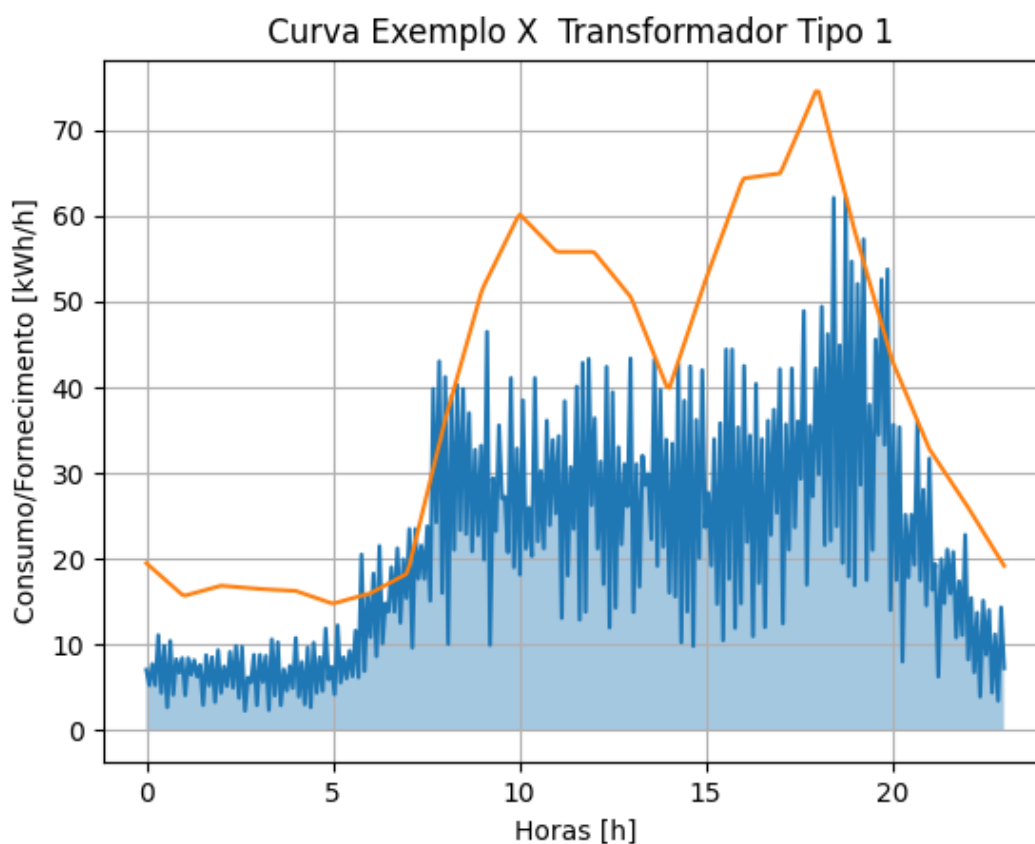
Para fazer a simulação e exportação dos dados, basta clicar na janela principal na opção "Configurações" acima, é possível escolher qual divisão em minutos será utilizada para a simulação e exportação de curvas e transformadores. Importante: É necessário selecionar uma curva e um transformador para utilizar essas funcionalidades. Caso a simulação ou exportação não funcione mesmo com ambos selecionados, provavelmente alguma Curva de Carga Horária de um equipamento ou transformador foi escrita no formato errado. A partir da simulação da curva e do transformador, eles compararam o gráfico dos dois e escolheram o transformador mais apropriado para atender às condições da região mapeada.

Sobre a exportação é importante ressaltar que ao clicar em "Exportar Curva", na mesma pasta do Simuload terá uma pasta "curvas". Cada simulação cria uma pasta com o nome da curva e do transformador utilizado contendo um arquivo .CSV com os dados de simulação. O nome do arquivo contém a data e horário que foi exportado.

Por fim, na simulação, a linha da curva é representada em azul e a do transformador em laranja. A simulação contém diversas opções utilitárias padrões do pacote Matplotlib, podendo mover a curva, zoom, voltar as visualizações, editar bordas e espaçamentos, configurar as características da curva e salvá-la como imagem. O eixo Y representa o Consumo/Fornecimento da curva e transformador em Kilowatt-hora [kWh] e o eixo X representa as horas [h]. Além disso, é possível selecionar o intervalo de simulação desejado entre as opções de 1 hora, 30 minutos, 15 minutos e 5 minutos, sendo a simulação de 1 hora a padrão. Abaixo temos as simulações de 30, 15 e 5 minutos, respectivamente.







### 5.3 Resultados e comparações

A utilização do Simuload se mostrou uma alternativa mais prática e eficiente quando comparada com a maneira comumente utilizada pelos alunos, na qual consiste em fazer as simulações manualmente, hora a hora, inserindo valores de vários equipamentos em vários estabelecimentos e calculando tudo por planilhas. Todo esse trabalho aumenta o tempo total destinado a essa atividade e pode levar a uma maior possibilidade de erro, pois os cálculos são feitos de forma manual pelos estudantes. Com o Simuload foi possível fazer todo esse cadastramento, análise e escolha do transformador adequado de forma mais prática e sem comprometer o processo de aprendizagem proposto no componente curricular.

Ao utilizar o Simuload, os alunos puderam ajustar as cargas, equipamentos e a curva para atender às condições do transformador, de forma mais ágil e eficiente. A ferramenta se mostrou uma alternativa prática e útil para a realização da atividade de Laboratório Integrado VI, proporcionando uma experiência mais enriquecedora e produtiva para os alunos.

## Capítulo 6: **Conclusão**

Video provides a powerful way to help you prove your point. When you click Online Video, you can paste in the embed code for the video you want to add. You can also type a keyword to search online for the video that best fits your document. To make your document look professionally produced, Word provides header, footer, cover page, and text box designs that complement each other. For example, you can add a matching cover page, header, and sidebar.

Click Insert and then choose the elements you want from the different galleries. Themes and styles also help keep your document coordinated. When you click Design and choose a new Theme, the pictures, charts, and SmartArt graphics change to match your new theme. When you apply styles, your headings change to match the new theme. Save time in Word with new buttons that show up where you need them.

### *6.1.1 Título da primeira seção do sexto capítulo*

Video provides a powerful way to help you prove your point. When you click Online Video, you can paste in the embed code for the video you want to add. You can also type a keyword to search online for the video that best fits your document.

To make your document look professionally produced, Word provides header, footer, cover page, and text box designs that complement each other. For example, you can add a matching cover page, header, and sidebar. Click Insert and then choose the elements you want from the different galleries.

Themes and styles also help keep your document coordinated. When you click Design and choose a new Theme, the pictures, charts, and SmartArt graphics change to match your new theme. When you apply styles, your headings change to match the new theme.

Save time in Word with new buttons that show up where you need them. To change the way a picture fits in your document, click it and a button for layout options appears next to it. When you work on a table, click where you want to add a row or a column, and then click the plus sign.

Reading is easier, too, in the new Reading view. You can collapse parts of the document and focus on the text you want. If you need to stop reading before you reach the end, Word remembers where you left off - even on another device.

Video provides a powerful way to help you prove your point. When you click Online Video, you can paste in the embed code for the video you want to add. You can also type a keyword to search online for the video that best fits your document.

To make your document look professionally produced, Word provides header, footer, cover page, and text box designs that complement each other. For example, you can add a matching cover page, header, and sidebar. Click Insert and then choose the elements you want from the different galleries.

Themes and styles also help keep your document coordinated. When you click Design and choose a new Theme, the pictures, charts, and SmartArt graphics change to match your new theme. When you apply styles, your headings change to match the new theme.

#### *6.1.2 Título da subseção do sexto capítulo.*

Video provides a powerful way to help you prove your point. When you click Online Video, you can paste in the embed code for the video you want to add. You can also type a keyword to search online for the video that best fits your document. To make your document look professionally produced, Word provides header, footer, cover page, and text box designs that complement each other. For example, you can add a matching cover page, header, and sidebar. Click Insert and then choose the elements you want from the different galleries. Themes and styles also help keep your document coordinated. When you click Design and choose a new Theme, the pictures, charts, and SmartArt graphics change to match your new theme. When you apply styles, your headings change to match the new theme.

## Referências

ERICKSON, Robert W.; MAKSIMOVIC, Dragan. **Fundamentals of power electronics**. Springer Science & Business Media, 2007.

CHEN, Jingquan; MAKSIMOVIC, Dragan; ERICKSON, Robert W. Analysis and design of a low-stress buck-boost converter in universal-input PFC applications. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 21, n. 2, p. 320-329, 2006.



# Apêndice A – Código do algoritmo de aleatoriedade

```
def interpolador_curva(self, consumo_curva, intervalo = 1):
    values = int(24 * (60/intervalo))
    intervalo_interp = np.linspace(0, 23, values)

    # cria um vetor vazio com a quantidade de valores e define o
subintervalo
    # subintervalo por ser de 5, 15 ou 30 minutos
    consumo_curva_interp = [None] * values
    sub_intervalo = int(values/24)
    count = 0

    # fixa uma seed para que o resultado seja o mesmo em todas as
simulações
    seed = int(np.sum(consumo_curva))
    percentual_var = 40
    base_avg = 100 - percentual_var

    while (count < values):
        # valor no vetor de 24h é a média do sub intervalo
        consumo_curva_interp[count] =
consumo_curva[int(count/sub_intervalo)]
        avg = consumo_curva_interp[count]

        if(values > 24):
            new_avg = 0
            for i in range(sub_intervalo):
                # setar uma seed única e gerar um valor de 0% a 40%
                np.random.seed(seed + count + i)
                rgen = np.random.randint(0, percentual_var)

                # comutar o sinal do valor gerado rgen
                if (count + i) % 2 != 0:
                    rgen = rgen*(-1)

                # soma o valor gerado a partir de meia média e acumula uma
nova média

                consumo_curva_interp[count+i] = avg*(base_avg+rgen)*0.01
                new_avg += consumo_curva_interp[count+i]
                i+=1

            # calcular fator do que falta para a média original
            normalization = 100/base_avg
            fator = avg/(normalization*new_avg/sub_intervalo)

            # multiplicar todos os valores do sub intervalo pelo fator
            j = 0
            while (j < sub_intervalo):
                # se o valor exceder a média:
```

```

# o ponto será igual à média e salvar o valor excedente
if (consumo_curva_interp[count+j] * fator) > avg:
    consumo_curva_interp[count+j] = avg
    exceed = consumo_curva_interp[count+j] * fator - avg

    # se ainda houver próximo valor, adicionar o excedente
    ao próximo

    # e contar duas iterações
    if (j + 1) < sub_intervalo:
        consumo_curva_interp[count+j+1] =
consumo_curva_interp[count+j+1] * fator + exceed
        j += 2

    # se não, adicionar ao anterior e contar uma iteração
    só (fim do laço)
    else:
        consumo_curva_interp[count+j-1] =
consumo_curva_interp[count+j-1] * fator + exceed
        j += 1

    # se não exceder a média, seguir a fórmula do fator
    else:
        consumo_curva_interp[count+j] =
consumo_curva_interp[count+j] * fator
        j += 1

    # a iteração acontece pra cada sub intervalo entre uma hora e
    outra
    count += sub_intervalo

# retorna valor em kW
return intervalo_interp, np.array(consumo_curva_interp)/1000

```