



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

JOÃO GOMES SIQUEIRA NETO

ENERGEO - DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO PARA BUSCA E  
EXPORTAÇÃO DE DADOS DA BASE DE DADOS BDGD ANEEL

TUCURUÍ-PA

2025

ENERGEO - DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO PARA BUSCA E  
EXPORTAÇÃO DE DADOS DA BASE DE DADOS BDGD ANEEL

Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado como requisito parcial  
para obtenção de grau de Bacharel em  
Engenharia de Computação, pela  
Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Renato Luz Cavalcante.

TUCURUÍ-PA

2025

JOÃO GOMES SIQUEIRA NETO

ENERGEO - DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO PARA BUSCA E  
EXPORTAÇÃO DE DADOS DA BASE DE DADOS BDGD ANEEL


Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado como requisito parcial  
para obtenção de grau de Bacharel  
em Engenharia de Computação,  
pela Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Renato Luz Cavalcante.

Data da Defesa: 01/08/2025

Conceito: Exelente


Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente  
 **RENATO LUZ CAVALCANTE**  
Data: 27/08/2025 16:30:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Renato Luz Cavalcante


Faculdade de Eng. Computação – UFPA Orientador

Documento assinado digitalmente  
 **DANIEL DA CONCEICAO PINHEIRO**  
Data: 29/08/2025 11:42:24-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Daniel da Conceição Pinheiro

Faculdade de Eng. Computação – UFPA Membro da Banca

Documento assinado digitalmente  
 **BERNARD CARVALHO BERNARDES**  
Data: 29/08/2025 12:32:26-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Bernard Carvalho Bernardes

Faculdade de Eng. Elétrica – UFPA Membro da Banca

TUCURUÍ-PA

2025

Dedico este trabalho a Deus,  
minha família em especial aos  
meus pais meus irmãos por  
sempre estarem comigo em  
todos os momentos dessa  
caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus que sempre esteve comigo, me guiando e me guardando nos dias mais difíceis da minha vida. Agradeço aos meus pais Maria de Nazaré e José Coutinho que sempre estiveram comigo me apoiando e cuidando de mim cada dia dessa jornada. Agradeço aos meus irmãos que sempre me deram todo o apoio que precisava. Agradeço a minha esposa e a minha filha que me deram novos motivos para nunca desistir no meio do caminho. Agradeço a FECOMP que me acolheu, aos docentes expressos a minha mais sincera gratidão por todos os ensinamentos que me acompanharam o resto da minha vida. Agradeço ao meu orientador Renato Cavalcante que acreditou não só em mim, mas em os discentes sempre propondo desafios com o intuito de buscamos ainda mais conhecimento.

“Mas, buscai primeiro o reino de Deus, e a sua justiça, e todas estas coisas vos serão acrescentadas.”

(Mateus 6:33)

## RESUMO

A Base de Dados Geográfica da Distribuidora (BDGD) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é uma fonte de dados fundamental para o setor elétrico brasileiro. Contudo, seu aproveitamento é frequentemente limitado por um fluxo de trabalho manual, complexo e suscetível a erros, que, para ser executado com sucesso, demanda um conhecimento técnico considerável do pesquisador em geoprocessamento e programação. Diante desse desafio, este trabalho apresenta o desenvolvimento da aplicação desktop ENERGEIO, uma ferramenta concebida para simplificar e automatizar a extração, o processamento e a exportação dos dados da BDGD. Desenvolvida em *Python*, com o uso de bibliotecas como *GeoPandas*, *Pandas* e *CustomTkinter*, a aplicação oferece uma interface gráfica intuitiva que permite ao usuário carregar os arquivos, filtrar os dados por circuitos ou componentes de interesse e, por fim, exportá-los em formatos diretamente compatíveis com os principais *softwares* de simulação do mercado, como *OpenDSS*, *ANAREDE* e *PandaPower*. O resultado é uma ferramenta que não apenas otimiza o tempo de pesquisa, proporcionando uma redução de até 97% no tempo de preparação de dados, e reduz a chance de erros, mas também democratiza o acesso a uma base de dados pública de grande importância, atuando como uma ponte eficiente entre os dados brutos da ANEEL e a análise em sistemas elétricos.

**Palavras-chave:** BDGD ANEEL, Automação de Dados, Sistemas Elétricos de Potência e Simulação de Redes Elétricas.

## **ABSTRACT**

The Distributor Geographic Database (BDGD) of the National Electric Energy Agency (ANEEL) is a fundamental data source for the Brazilian electricity sector. However, its use is often limited by a manual, complex, and error-prone workflow, which, to be executed successfully, requires considerable technical knowledge of geoprocessing and programming from the researcher. Faced with this challenge, this paper presents the development of the ENERGEIO desktop application, a tool designed to simplify and automate the extraction, processing, and export of BDGD data. Developed in Python, using libraries such as GeoPandas, Pandas, and CustomTkinter, the application offers an intuitive graphical interface that allows the user to upload files, filter the data by circuits or components of interest, and finally export them in formats directly compatible with the main simulation software on the market, such as OpenDSS, ANAREDE, and PandaPower. The result is a tool that not only optimizes research time, providing a reduction of up to 97% in data preparation time, and reduces the chance of errors, but also democratizes access to a public database of great importance, acting as an efficient bridge between ANEEL's raw data and analysis in electrical systems.

**Keywords:** BDGD ANEEL, Data Automation, Electrical Power Systems and Electrical Network Simulation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Fluxograma do trabalho manual para explorar os dados .....	24
Figura 2 - Seleção das camadas. ....	26
Figura 3 - Filtrando dados de uma camada. ....	27
Figura 4 - Logo do ENERGEIO.....	29
Figura 5 - Célula de exploração dos transformadores.....	31
Figura 6 - Código de recuperação de dados dos transformadores .....	32
Figura 7 - Fluxo de funcionamento do ENERGEIO .....	33
Figura 8 - Tela inicial do ENERGEIO .....	34
Figura 9 - Tela de carregamento do arquivo .....	35
Figura 10 - Tela padrão de escolha do arquivo.....	35
Figura 11 - Arquivo selecionado com sucesso .....	36
Figura 12 - Tela de filtragem dos dados .....	36
Figura 13 - Tela de Alta tensão.....	37
Figura 14 - Tela de exportação dos dados .....	38
Figura 15 - Dados gerados e abertos no ANAREDE (CEPEL).....	42
Figura 16 - Dados gerados para o OpenDSS .....	42
Figura 17 - Dados das linhas para exportados para OpenDSS .....	43

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Comparativo dos métodos manuais x automatizado ENE-GEO .....	43
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ANAREDE** – Análise de Redes

**ANEEL** – Agência Nacional de Energia Elétrica

**ARAT** – Área de Atuação

**BDGD** – Base de Dados Geográfica da Distribuidora

**CEPEL** – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

**CSV** – *Comma-Separated Values* (Valores Separados por Vírgula)

**DSS** – *Distribution System Simulator* (formato de arquivo do OpenDSS)

**EIA** – *Energy Information Administration*

**EPRI** – *Electric Power Research Institute*

**EUA** – Estados Unidos da América

**GUI** – *Graphical User Interface* (Interface Gráfica do Usuário)

**JSON** – *JavaScript Object Notation*

**ONS** – Operador Nacional do Sistema Elétrico

**OpenDSS** – *Open Distribution System Simulator*

**PDA** – Plano de Dados Abertos

**PRODIST** – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

**QGIS** – *Quantum GIS*

**SDEE** – Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica

**SHP** – *Shapefile* (formato de arquivo de dados geoespaciais)

**SIG** – Sistema de Informação Geográfica

**SIN** – Sistema Interligado Nacional

**SUB** – Subestação

**UCAT** – Unidade Consumidora de Alta Tensão

**UCBT** – Unidade Consumidora de Baixa Tensão

**UCMT** – Unidade Consumidora de Média Tensão

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
3.1. O Fluxo de Trabalho Manual para o uso do BDGD .....	24
3.1.1 Aquisição e Organização dos dados do BDGD .....	25
3.1.2 Exploração e visualização dos dados .....	25
3.1.3 Filtragem e Seleção dos dados .....	27
3.1.4 Tratamento e conversão para formatos de simulação.....	28
3.1.5 Execução da Simulação e Análise dos Dados .....	28
3.2 ENERGEIO.....	29
3.2.1 Exploração e tratamento dos dados com <i>Python</i> .....	30
3.2.2 Arquitetura e Desenho da aplicação.....	32
3.2.3 Tecnologias Utilizadas:.....	32
3.2.4 Estrutura do ENERGEIO.....	33
3.2.5 Desafios Encontrados no Desenvolvimento .....	38
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>40</b>
4.1 Aplicativo ENERGEIO: Funcionalidades e Operação: .....	40
4.2 Carregamento e Processamento Inicial dos Dados:.....	40
4.3 Filtragem e Seleção de Dados via Interface Gráfica.....	41
4.3.1 Exportação Automatizada para Simuladores:.....	41

4.4	Análise Comparativa: Fluxo Manual vs. Fluxo Automatizado com ENERGEO:	
	43	
4.5	Discussão dos Resultados .....	44
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>45</b>
5.1	Limitações e Trabalhos Futuros.....	46
	<b>Referências .....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em escala global, bases de dados georreferenciadas têm sido amplamente utilizadas para estudos e simulações de linhas de transmissão, que tem auxiliando no planejamento, expansão e otimização de redes elétricas. Estudos como o de (SUN, 2020), que utiliza dados da *Energy Information Administration* (EIA) agência responsável por estatísticas energéticas nos *Estados Unidos da America* (EUA) para projetar a expansão da rede elétrica americana em longo prazo.

No contexto brasileiro, o BDGD da ANEEL tem sido empregada em pesquisas relacionadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN), operado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Como o trabalho de (Santos, 2021) que apresentou uma metodologia para modelagem de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica (SDEE) utilizando a BDGD.

O BDGD da ANEEL é o único repositório de informações do setor elétrico brasileiro, contendo dados históricos e georreferenciados de geração, transmissão e distribuição de energia do sistema elétrico brasileiro. O BDGD foi criado a partir da Norma 730/2016 da ANEEL (BRASIL, 2016) que implementou o MÓDULO 10 do PRODIST voltado para estabelecer o conjunto mínimo de informações da distribuidora, as quais compõem o Sistema de Informação Geográfica Regulatório (ANEEL, MÓDULO 10, 2023). Mas essa base de dados não estava disponível para uso público isso só mudou a partir do ano de 2022 quando a mesma foi disponibilizada, com a sua publicação no portal de dados abertos da ANEEL. A Portaria nº 6.785/2022 da ANEEL estabeleceu o Plano de Dados Abertos (PDA) para 2022-2024, tornando a BDGD acessível ao público. Com isso essa base de dados tem sido amplamente utilizada em pesquisas acadêmicas e profissionais, permitindo estudos sobre eficiência energética, planejamento de redes, impactos de fontes renováveis e análise de falhas.

Apesar do BDGD possuir uma grande quantidade de informações, o acesso e o processamento desses dados ainda são complexos. O que torna recomendável que o pesquisador tenha conhecimentos técnicos em manipulação de bancos de dados, geoprocessamento ou programação, o que limita sua utilização por pesquisadores de áreas correlatas que não possuem formação em computação.

Os usos de ferramentas computacionais têm tido um crescimento exponencial nas últimas décadas, consolidando-se como parte fundamental em todas as áreas do conhecimento científico. Segundo estudos de (SCHWAB, 2019) esse fenômeno está intrinsecamente relacionado à chamada Quarta Revolução Industrial, marcada pela convergência de tecnologias digitais, físicas e biológicas, onde a eficiência no processamento de dados e a automação de

tarefas assumem papel central.

Em paralelo a este fato, observa-se uma demanda crescente por soluções computacionais que ofereçam não apenas maior precisão na busca e recuperação de informações, mas também significativa redução no tempo dedicado à coleta e tratamento de dados. O livro de (Schwab, 2019) aborda como a convergência dos mundos digital, físico e biológico está impulsionando a produtividade das empresas e a necessidade de adaptação do mercado de trabalho. Além disso, é mostrado também que o estudo sobre eficiência em pesquisa acadêmica, processos que anteriormente demandavam semanas de trabalho manual podem ser reduzidos a questão de minutos quando adequadamente automatizados. Nesse contexto, observa-se a necessidade do desenvolvimento de uma aplicação com interface gráfica do usuário (GUI - *Graphical User Interface*) especificamente projetada para operar atuando na base de dados disponibilizada pela ANEEL. A escolha por uma interface gráfica, ao invés de soluções baseadas apenas em linhas de comando, fundamenta-se nos princípios de design centrado no usuário propostos por (Johnson, 2021), que destacam a importância da acessibilidade e usabilidade em ferramentas computacionais.

Este trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento do aplicativo desktop ENERGEO, uma ferramenta especializada para facilitar a extração, o processamento e a exportação de dados da BDGD da ANEEL, integrando-os de forma eficiente a *softwares* de simulação elétrica amplamente utilizados em pesquisas, como *OpenDSS*, *ANAREDE* e *PandaPower*.

Como objetivos específicos, destaca-se:

- Criação de uma interface gráfica intuitiva (*GUI*);
- Simplificação de todo o fluxo de trabalho;
- Eliminação (quando possível) de etapas manuais demoradas e propensas a erros;
- A organização e carregamento dos arquivos da BDGD;
- A filtragem e seleção dos dados relevantes para o usuário;
- A exportação em formatos específicos, como arquivos. DSS (*OpenDSS*),

formatos nativos do *ANAREDE* e saídas compatíveis com o *PandaPower*.

Além disso, a ferramenta incorpora funcionalidades adicionais, como a exportação de imagens dos circuitos, facilitando a documentação e a análise visual dos sistemas elétricos estudados.

A relevância do ENERGEO manifesta-se em dois aspectos principais: primeiro, ao

agilizar significativamente o processo de preparação de dados para simulações, que tradicionalmente exigia manipulação manual e conversões entre formatos distintos; e segundo, ao democratizar o acesso à BDGD, tornando-a mais acessível tanto para pesquisadores acadêmicos quanto para profissionais da área.

Em síntese, o ENERGEIO posiciona-se como uma solução integradora entre a base de dados da ANEEL e as plataformas de simulação, contribuindo para maior eficiência, reprodutibilidade e padronização em estudos relacionados a redes elétricas no Brasil. Sua arquitetura foi desenvolvida com foco na usabilidade, garantindo que usuários com diferentes níveis de experiência técnica possam extrair, processar e exportar dados com facilidade, reduzindo assim barreiras na modelagem e análise de sistemas de energia.

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, conforme descrito a seguir:

Capítulo 1: é apresentada a Introdução, que contextualiza a relevância da Base de Dados Geográfica da Distribuidora (BDGD) e expõe os desafios técnicos no seu manuseio. O capítulo estabelece os objetivos geral e específicos da pesquisa e, por fim, descreve a estrutura do trabalho.

Capítulo 2: é apresentada a Fundamentação Teórica, no qual embasa-se o trabalho e conduz o leitor para a compreensão do desenvolvimento do ENERGEIO, expandindo todos os elementos introduzidos no capítulo 1 para uma compreensão maior do objetivo da aplicação.

A Metodologia é apresentada no Capítulo 3, no qual foca-se em demonstrar o processo manual que é comumente usados por pesquisadores para explorar os dados que leva tempo e muitas vezes o pesquisador tem que usar softwares variados para concluir a pesquisa como o *Quantum GIS (QGIS)* para explorar as camadas e posteriormente transforma esses dados em formatos simuláveis ou proceder a pesquisa a parti dos dados minerados da base de dados. E, posteriormente, mostra o desenvolvimento da aplicação que entrega todas essas etapas manuais em uma só aplicação com interface gráfica amigável com telas de seleção de arquivo, oferecer escolhas de dados e opções de exportação para simulação.

Nos Resultados e Discussões, capítulo 4, exhibe-se os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta, como eficiência na exportação de dados, comparação com métodos manuais e análise de usabilidade. Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões nas quais sintetiza as contribuições do trabalho, limitações encontradas além de sugestões para pesquisas futuras.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A criação e disponibilização da Base de Dados Geográfica da Distribuidora (BDGD) pela ANEEL é de grande relevância para o setor elétrico brasileiro, sendo amplamente empregada em pesquisas para a modelagem de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica (SDEE) e para a avaliação de impactos de fontes renováveis. A base reúne informações detalhadas sobre as redes de distribuição e unidades de geração distribuída em todo o país.

O objetivo de promover a abertura de dados, zelando pelos princípios da publicidade, da transparência e da eficiência, visa ao aumento da disseminação de informações para a sociedade, bem como à melhoria da qualidade dos dados disponibilizados, de forma a dar suporte à tomada de decisão pelos gestores públicos e dar suporte ao controle social. (ANEEL, Dados Abertos - Agência Nacional de Energia Elétrica estatísticas, 2022, p. 1)

Os dados do BDGD são disponibilizados no formato *shapefile* (.shp), contendo diversas camadas de informações georreferenciadas. Entre estas destacam-se as seguintes camadas Área de atuação (ARAT), Unidade Consumidora de Baixa Tensão (UCBT), Unidade Consumidora de Média Tensão (UCMT) e Unidade Consumidora de Alta Tensão (UCMT) como outras camadas de pontos georreferenciados de ativos como subestações e transformadores, além de polígonos e pontos contendo informações sobre as unidades de geração distribuída, todas essas camadas estão descritas com todas as informações no Manual de Instruções da BDGD. Cada elemento possui metadados associados, como potência instalada, tipo de gerador e data de conexão, seguindo as especificações técnicas estabelecidas pelo Módulo 10 do PRODIST (ANEEL, 2023).

A cadeia de produção e disponibilização do BDGD segue um fluxo bem definido: as concessionárias de energia enviam periodicamente seus dados georreferenciados para a ANEEL, que por sua vez realiza processos de validação para tentar garantir a conformidade com os manuais técnicos antes de disponibilizar as informações ao público. Esta etapa sistemática é regulamentada pela Resolução Normativa nº 876/2020, que estabelece os critérios e prazos para envio das informações, conforme estabelecido pelo Manual de Instruções da BDGD (ANEEL, 2022). No entanto essas verificações não eliminam os erros causados pelos operadores causando erros em informações que possam passar despercebidos para o arquivo final do *shp*.

Na prática, o BDGD tem sido utilizado para diversas finalidades. No âmbito acadêmico, pesquisadores empregam esses dados para análises espaciais da penetração da

geração distribuída em diferentes regiões do país, estudos de impacto técnico nas redes de distribuição e avaliações de viabilidade econômica de micro redes, como o trabalho de (SILVA, 2022b) que fez um estudo avaliando os impactos da GD fotovoltaica em uma rede elétrica. Para as concessionárias e órgãos reguladores, o banco de dados serve como ferramenta para fiscalização de conexões irregulares, planejamento da expansão da rede e identificação de oportunidades para novos projetos.

Apesar de sua relevância, a utilização do BDGD pode ser potencializada com o desenvolvimento de softwares especializados em SIG, como *QGIS* que é uma solução grátis para visualização de dados ou *ArcGIS* que já é um software pago com a mesma funcionalidade, para manipulação dos dados.

Uma das limitações está no processo manual de extração e conversão dos dados para utilização em softwares de simulação que na maioria das pesquisas é o objetivo final do pesquisador, como *OpenDSS*, *ANAREDE* e *PandaPower*. Este processo, além de consumir tempo considerável, exige conhecimentos técnicos específicos, limitando o potencial de utilização do BDGD por parte de muitos pesquisadores e profissionais do setor.

Apesar da riqueza de detalhes, a utilização direta desta base para estudos de redes elétricas não é uma tarefa trivial, uma vez que os dados precisam ser tratados e convertidos para o formato de entrada dos programas de simulação. Este processo manual, conforme aponta Silva (2022a, p. 1), é trabalhoso, repetitivo e propenso a erros.

É justamente neste contexto que se insere a proposta deste trabalho, desenvolvendo uma aplicação que visa mitigar essas limitações através da automação dos fluxos de trabalho. A solução proposta busca democratizar o acesso aos dados do BDGD por meio de uma interface gráfica intuitiva, eliminando a necessidade de conhecimentos avançados em SIG. Paralelamente, o sistema realiza a conversão automática dos dados para os formatos exigidos pelos principais softwares de simulação utilizados no setor, gerando arquivos prontos para utilização e respeitando os requisitos técnicos estabelecidos pelo PRODIST.

Desta forma, o desenvolvimento desta aplicação tem o potencial de ampliar significativamente a utilização do BDGD, tornando-o mais acessível e eficiente para pesquisadores, profissionais do setor elétrico e órgãos reguladores, contribuindo para o avanço dos estudos e análises em sistemas de distribuição de energia distribuída no Brasil.

O avanço da tecnologia tem mudado como as tarefas são desenvolvidas no contexto geral trazendo mais comodidade, precisão e agilidade. No setor elétrico, especificamente no estudo de sistemas de distribuição e geração de energia, essa transformação se manifesta através

da adoção de ferramentas computacionais avançadas que estão revolucionando os métodos tradicionais de investigação científica. Podemos atribuir esse fato a Quarta Revolução Industrial, ou como é chamado industrial 4.0 que é a fase atual da industrialização, que vem redefinindo os paradigmas das pesquisas científicas em todos os campos do conhecimento. Como percebe-se na obra de (Schwab, 2019).

O surgimento de poderosas plataformas de análise de dados, técnicas de aprendizado de máquina e sistemas de automação de processos está permitindo que pesquisadores superem limitações que persistiam há décadas (SILVA, 2022a). O processamento de grandes volumes de dados georreferenciados, que antes demandava semanas de trabalho manual, pode agora ser realizado em questão de horas ou até minutos. Essa aceleração nos processos de pesquisa não representa apenas um ganho de tempo, mas principalmente uma mudança qualitativa na forma como a ciência é praticada.

Na área de sistemas elétricos, observa-se três impactos principais dessas inovações tecnológicas. Primeiramente, a capacidade de processamento moderno permite a análise de cenários complexos que eram computacionalmente inviáveis no passado. Simulações que consideram múltiplas variáveis simultaneamente, como padrões de consumo, condições meteorológicas e características da rede, podem agora ser realizadas com uma maior precisão.

Em segundo lugar, a integração entre diferentes ferramentas computacionais criou ecossistemas de pesquisa mais eficientes. Plataformas como *Python* com suas bibliotecas especializadas (*Pandas*, *NumPy*, *GeoPandas*) permitem fluxos contínuos desde a aquisição de dados brutos até a geração de relatórios completos, eliminando gargalos que antes comprometiam a produtividade científica. Por fim, e talvez o aspecto mais revolucionário, está a democratização do acesso à pesquisa de ponta. Ferramentas de código aberto e interfaces gráficas intuitivas estão reduzindo as barreiras de entrada, permitindo que um número maior de pesquisadores participe ativamente do avanço científico, independentemente de seus recursos institucionais. Essa acessibilidade ampliada está acelerando a inovação e fomentando colaborações antes impossíveis.

O desenvolvimento da aplicação proposta neste trabalho se insere precisamente neste contexto de transformação tecnológica. Ao criar uma solução que automatiza o processamento de dados do BDGD e sua conversão para formatos de simuladores, estamos não apenas resolvendo um problema específico, mas contribuindo para essa mudança de paradigma na pesquisa em sistemas elétricos. A ferramenta representa a materialização dos princípios da Quarta Revolução Industrial aplicados ao setor energético: integração, automação e acessibilidade.

Vale destacar que essa evolução tecnológica não substitui o papel do pesquisador, mas antes o potencializa. Liberto de tarefas repetitivas e manuais, o cientista pode dedicar mais tempo à análise crítica dos resultados, à formulação de novas hipóteses e ao desenvolvimento de soluções inovadoras. Nesse sentido, as ferramentas computacionais modernas não são meros instrumentos auxiliares, mas verdadeiros catalisadores do pensamento científico.

À medida que avançamos nas pesquisas, é de suma importância que a comunidade científica continue a explorar essas novas tecnologias, para desenvolvendo soluções cada vez mais inteligentes, como a proposta neste trabalho, transformem desafios técnicos em oportunidades de avanço do conhecimento. O futuro da pesquisa em sistemas elétricos e em todas as áreas do saber será cada vez mais marcado por essa sinergia entre a criatividade humana e o poder das ferramentas computacionais modernas.

No cenário atual de modernização para estudos em dos sistemas elétricos, os softwares de simulação tornaram-se ferramentas indispensáveis para pesquisadores e profissionais da área. Entre as principais plataformas utilizadas no Brasil destacam-se o *ANAREDE*, *OpenDSS* e *PandaPower*, cada um com suas particularidades e aplicações específicas no estudo de redes de distribuição e geração de energia.

O *ANAREDE*, desenvolvido pela Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), representa a solução nacional mais consolidada para estudos de sistemas elétricos de potência. Amplamente utilizado por concessionárias e órgãos reguladores brasileiros. Sua interface gráfica, embora menos intuitiva que soluções mais modernas, é complementada por um robusto conjunto de funcionalidades específicas para o sistema elétrico brasileiro. Uma característica particularmente relevante do *ANAREDE* é sua capacidade de trabalhar com modelos detalhados dos componentes típicos da rede elétrica nacional, tornando-o especialmente valioso para estudos com alto grau de precisão (CEPEL).

O *Open Distribution System Simulator (OpenDSS)*, desenvolvido pelo *EPRI (Electric Power Research Institute)*, se consolidou como uma das ferramentas mais versáteis para análise de sistemas de distribuição. Sua arquitetura aberta e capacidade de modelar fenômenos complexos, como a integração de fontes renováveis distribuídas, o tornam particularmente adequado para estudos de micro redes e sistemas com alta penetração de geração distribuída. O software utiliza linguagem de script própria (.DSS) para configuração dos estudos, o que oferece grande flexibilidade, mas também exige certo conhecimento técnico por parte dos usuários. Sua capacidade de realizar simulações no domínio do tempo e frequência, além de análises de fluxo de potência, o diferencia de muitas outras ferramentas disponíveis no mercado (EPRI, 2024).

O *PandaPower* emerge como uma alternativa moderna, construída sobre a linguagem *Python*, que combina a flexibilidade da programação com a praticidade de bibliotecas especializadas. Diferentemente das soluções tradicionais, o *PandaPower* se integra naturalmente ao ecossistema científico *Python*, permitindo a incorporação de técnicas avançadas de análise de dados e aprendizado de máquina aos estudos de sistemas elétricos. Essa característica o torna particularmente atraente para pesquisas acadêmicas e desenvolvimentos inovadores, onde a capacidade de personalização e extensão são fatores críticos. O formato JSON utilizado para configuração dos casos de estudo facilita a integração com outras ferramentas e a automação de fluxos de trabalho (Universität Kassel, 2024).

Apesar de suas diferenças, esses três softwares compartilham um desafio comum: a complexidade no processo de preparação dos dados de entrada como citado (SILVA, 2022a). É justamente neste aspecto que a aplicação desenvolvida neste trabalho oferece sua principal contribuição. Ao automatizar a conversão dos dados do BDGD da ANEEL para os formatos nativos de cada um desses simuladores, a ferramenta proposta elimina uma das principais barreiras à sua utilização eficiente. Essa integração permite que pesquisadores concentrem seus esforços na análise dos resultados e no desenvolvimento de novos conhecimentos, em vez de gastarem tempo valioso com a preparação dos dados básicos para simulação.

A evolução dessas ferramentas de simulação acompanha as necessidades crescentes do setor elétrico, que demanda cada vez mais análises precisas e abrangentes para lidar com os desafios da transição energética. O *OpenDSS*, com sua flexibilidade para modelar fontes distribuídas; o *ANAREDE*, com seu conhecimento incorporado do sistema brasileiro; e o *PandaPower*, com sua integração ao ecossistema científico moderno, representam o estado da arte em simulação de sistemas elétricos. A aplicação desenvolvida neste trabalho posiciona-se como um elemento facilitador nesse ecossistema, potencializando a utilidade dessas importantes ferramentas para a pesquisa e o desenvolvimento do setor elétrico nacional.

A automação de processos em pesquisa tem se consolidado como um pilar importante para o avanço científico, especialmente em áreas que demandam o processamento de grandes volumes de dados, como os estudos de sistemas elétricos. No contexto atual, onde a velocidade e a reprodutibilidade dos resultados são tão importantes quanto sua precisão, a implementação de fluxos de trabalho automatizados representa uma mudança de paradigma na forma como a pesquisa é conduzida.

No setor elétrico, especificamente na análise de dados georreferenciados e simulações de redes de distribuição, a automação oferece três benefícios principais: redução de erros humanos, ganho de eficiência e padronização de metodologias. Tradicionalmente,

pesquisadores dedicavam grande parte do tempo a tarefas repetitivas, como a conversão de arquivos, filtragem manual de dados e preparação de entradas para softwares de simulação. Esses processos, além de consumirem tempo valioso, estavam sujeitos a inconsistências, especialmente quando realizados por diferentes membros de uma equipe.

A automação surge como resposta a esses desafios, permitindo que rotinas complexas sejam executadas de forma sistemática e confiável. Ferramentas como scripts em *Python*, por exemplo, possibilitam a criação de *pipelines* de processamento que integram desde a extração de dados brutos até a geração de relatórios completos. Essa abordagem não apenas acelera a obtenção de resultados, mas também garante que diferentes pesquisadores, trabalhando em momentos distintos, possam reproduzir exatamente os mesmos procedimentos.

No caso específico da aplicação desenvolvida neste trabalho, a automação desempenha um papel central. Ao converter dados do BDGD da ANEEL para formatos compatíveis com *OpenDSS*, *ANAREDE* e *PandaPower* de maneira automatizada, a ferramenta elimina etapas manuais que antes representavam gargalos significativos. Além disso, a implementação de uma interface gráfica intuitiva democratiza o acesso a esses processos, permitindo que mesmo usuários sem conhecimentos avançados em programação aproveitem os benefícios da automação.

Outro aspecto relevante é o impacto da automação na reprodutibilidade científica. Em um cenário onde a confiabilidade dos resultados é crítica, a capacidade de documentar e replicar cada etapa do processamento dos dados agrega valor às pesquisas. Fluxos automatizados permitem que, a qualquer momento, seja possível reexecutar análises com parâmetros ajustados ou incluir novos dados sem a necessidade de refazer todo o processo manualmente.

Vale destacar que a automação não substitui a expertise do pesquisador, mas potencializa sua capacidade de análise. Ao delegar tarefas operacionais a sistemas computacionais, os profissionais podem dedicar mais tempo à interpretação dos resultados, à formulação de novas hipóteses e ao desenvolvimento de soluções inovadoras. Essa mudança de foco é particularmente importante em um contexto onde a quantidade de dados disponíveis cresce exponencialmente, exigindo abordagens cada vez mais sofisticadas para sua análise.

Por fim, a automação de processos em pesquisa se alinha perfeitamente às demandas da Quarta Revolução Industrial, que valoriza a integração entre sistemas físicos e digitais. A aplicação proposta neste trabalho exemplifica como essa integração pode ser aplicada para resolver problemas concretos do setor elétrico, tornando pesquisas mais ágeis, confiáveis e acessíveis. À medida que novas tecnologias emergem, a tendência é que a automação se torne

ainda mais presente, transformando não apenas como a pesquisa é feita, mas também o ritmo em que novas descobertas são alcançadas.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia apresentada no trabalho mostra o processo de análise de dados do BDGD, passando de um fluxo manual para um sistema automatizado e eficiente com o uso do ENERGEIO, e permite que pesquisadores foquem na interpretação dos resultados em vez da manipulação exaustiva dos dados.

#### O Fluxo de Trabalho Manual para o uso do BDGD

A utilização da BDGD em estudos acadêmicos e profissionais, embora represente um grande avanço para o setor elétrico, impõe um fluxo de trabalho predominantemente manual, complexo e que demanda competências variadas como demonstra-se na Figura 1.

Antes que qualquer simulação ou análise de rede possa ser realizada, o pesquisador deve executar uma série de etapas dispendiosas que consomem tempo e são suscetíveis a erros, representando uma barreira, mesmo que inconsciente, para o uso do BDGD.

Figura 1- Fluxograma do trabalho manual para explorar os dados



Fonte: Próprio autor

As seções a seguir detalham este processo usando como exemplo o trabalho de (DOMINGUES JUNIOR, 2022), que analisou a coordenação da proteção de um alimentador elétrico, exemplificando o fluxo de trabalho manual ao primeiro validar os dados da BDGD com o software *QGIS* para, subsequentemente, utilizar o software *OpenDSS* para simular as correntes de curto-circuito da rede.

## Aquisição e Organização dos dados do BDGD

O ponto de partida para qualquer estudo que utilize o BDGD é a obtenção dos dados brutos. Este processo inicia-se com o acesso ao portal de dados abertos da ANEEL<sup>1</sup>, onde a base de dados é disponibilizada de acordo com a concessionária, ao público a desde de 2022. Os dados são fornecidos em formato *.shp*, um padrão para dados georreferenciados. O pesquisador precisa identificar e baixar os pacotes de arquivos correspondentes às concessionárias e aos anos de interesse. Frequentemente, esses dados são distribuídos em arquivos compactados e volumosos, exigindo um processo manual de descompactação e, em seguida, uma organização criteriosa em diretórios locais para que possam ser minimamente gerenciáveis nas etapas subsequentes. Esta fase inicial, embora pareça simples, já estabelece um primeiro desafio de gestão de dados, como destacado na conclusão de (DOMINGUES JUNIOR, 2022): “O manuseio dos dados foi muito trabalhoso devido ao grande volume de informações, que exigiu tempo para ser processado pelo computador e manipulado”.

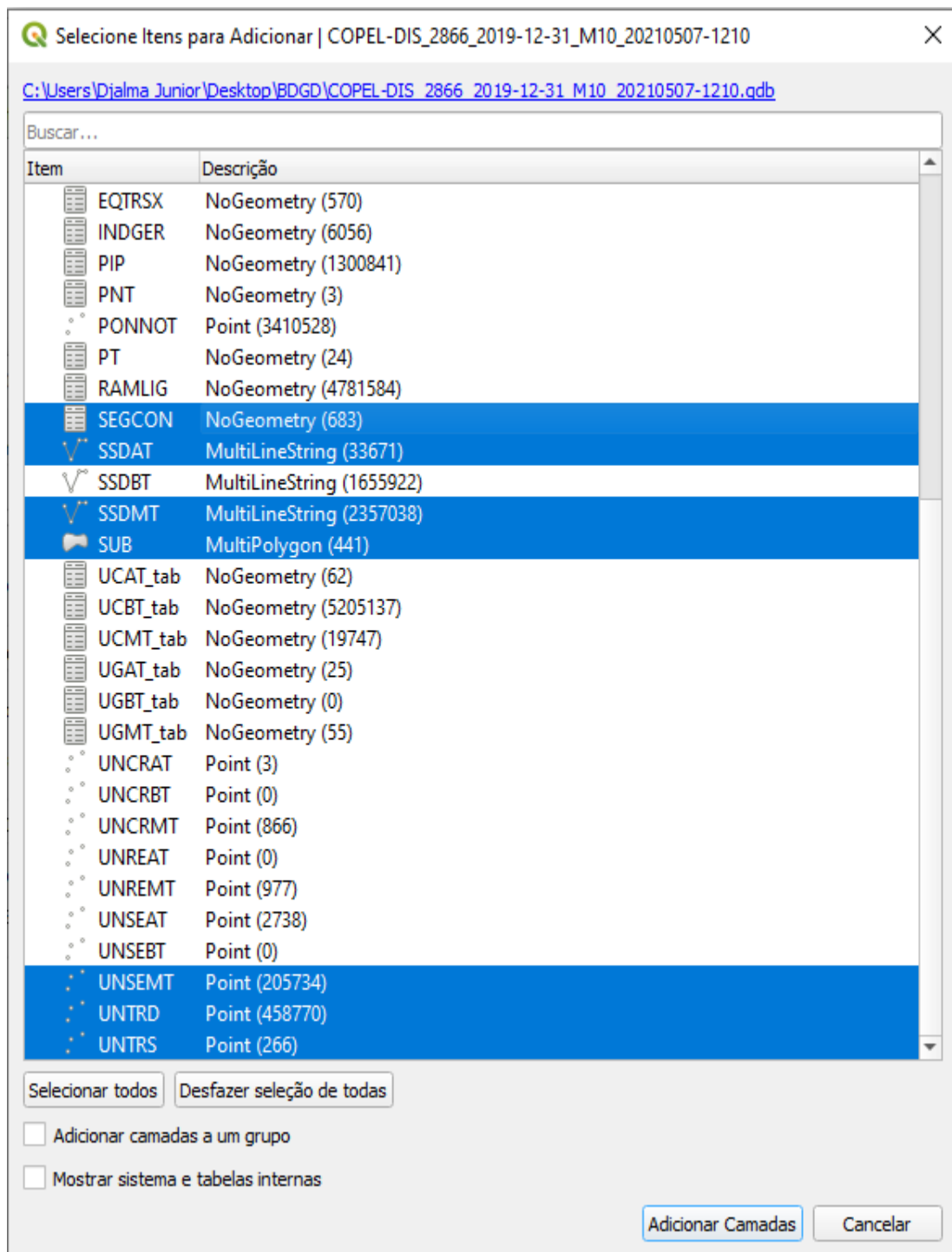
## Exploração e visualização dos dados

Uma vez que os arquivos *shp* estão organizados, eles não podem ser interpretados diretamente em seu formato bruto. É indispensável o uso de um software de SIG para a visualização e exploração das camadas de dados. Ferramentas como o *QGIS*, uma solução de código aberto, ou o *ArcGIS*, uma plataforma comercial, são comumente empregadas para essa finalidade. Como demonstrado no trabalho de (DOMINGUES JUNIOR, 2022), onde o autor demonstra o processo de abertura do software *QGIS*, e a filtragem das camadas que eram de interesse para o trabalho do mesmo nas respectivas Figura 2.

---

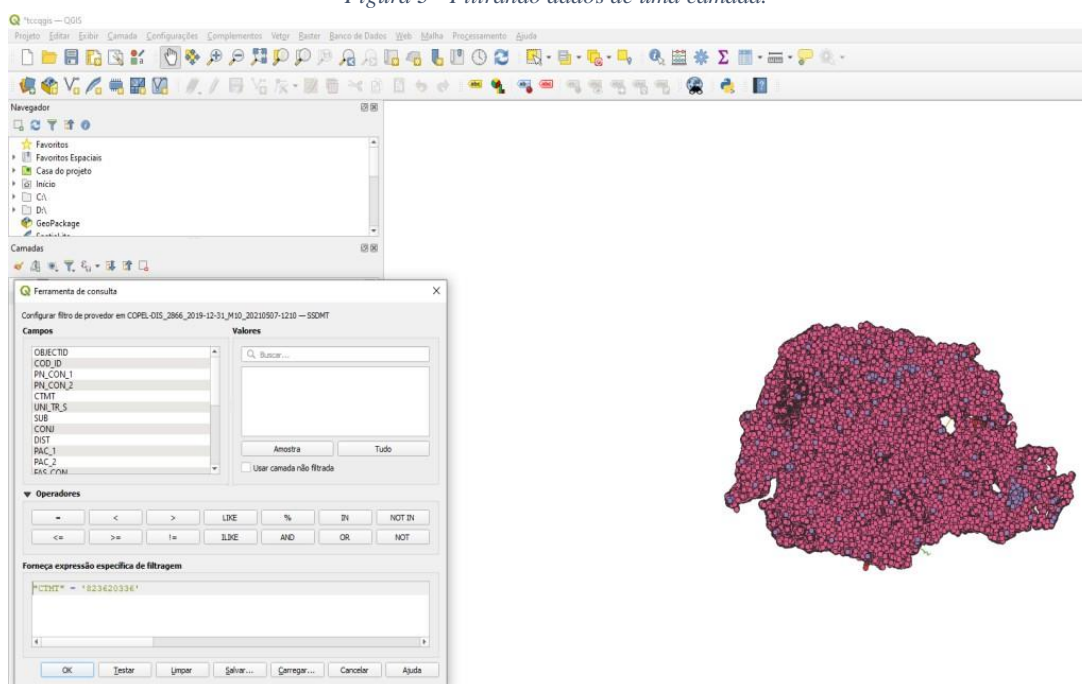
<sup>1</sup> O banco de dados pode ser acessado através de: < <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/base-de-dados-geografica-da-distribuidora-bdgd>>

Figura 2 - Seleção das camadas.



Fonte: Página 22 do trabalho de (DOMINGUES JUNIOR, 2022)

Figura 3 - Filtrando dados de uma camada.



Fonte: Página 23 do trabalho de (DOMINGUES JUNIOR, 2022)

Neste processo, o pesquisador deve carregar manualmente as diversas camadas de interesse, como as de UCBT e UCMT, subestações, transformadores e linhas de transmissão. Somente após carregar e sobrepor essas camadas torna-se visível a topologia da rede elétrica. Esta etapa é importante que o usuário possua conhecimentos técnicos em geoprocessamento, para facilitar o manuseio das camadas, o que limita a utilização da base por pesquisadores de áreas correlatas que não possuem tais conhecimentos.

### Filtragem e Seleção dos dados

A base de dados disponível na ANEEL abrange a área de concessão inteira de uma distribuidora para determinada região. Dependendo da área de atuação da concessionária e da complexibilidade da rede elétrica, o arquivo de dados pode, facilmente, passar de dois Gigabytes de dados compactados.

Consequentemente, a próxima etapa manual consiste na filtragem e seleção de um subconjunto relevante de dados.

Aplicando o filtro correspondente nas camadas: SSDAT, SUB, UNTRBT, SSDMT, UNTRAT e UNSEMT, chega-se à rede analisada. Trata-se de um alimentador da subestação Água Verde, localizado no bairro água verde em Curitiba-Paraná (DOMINGUES JUNIOR, 2022, p. 43).

Ao utilizar as ferramentas do software de SIG, o pesquisador precisa aplicar filtros espaciais ou por atributos para isolar a rede de um município, um bairro ou, mais especificamente, de um alimentador de distribuição. Este processo de "recorte" da rede é importante, mas exige uma interação cuidadosa com a interface do software para garantir que todos os elementos necessários para a simulação (consumidores, transformadores, nós e trechos de rede) sejam corretamente selecionados, sem omissões ou excessos.

### Tratamento e conversão para formatos de simulação

Os dados filtrados e exportados do SIG, geralmente em formatos genéricos como *CSV* ou planilhas, não são compatíveis com os softwares de simulação de sistemas elétricos. (SILVA, 2022a) aponta que "a utilização direta desta base para estudos de redes elétricas não é uma tarefa trivial, uma vez que os dados precisam ser tratados e convertidos para o formato de entrada dos programas de simulação".

O pesquisador é forçado a realizar um tratamento intensivo e recorrer a scripts em linguagens como *Python* e bibliotecas especializadas (*Pandas*, *GeoPandas*) ou a manipulações complexas em planilhas. Essa conversão implica em adaptar cada coluna de dados, ajustar unidades, calcular parâmetros elétricos a partir das informações da base e, finalmente, estruturar os dados nos formatos de arquivo proprietários exigidos por cada simulador, como os arquivos DSS para o *OpenDSS*, os formatos nativos do *ANAREDE* ou as saídas compatíveis com o *PandaPower*. Este processo manual não é apenas demorado, mas, como destacado em (DOMINGUES JUNIOR, 2022), é "trabalhoso, repetitivo e propenso a erros", podendo comprometer a integridade dos dados e a reprodutibilidade da pesquisa.

### Execução da Simulação e Análise dos Dados

Passando para a fase de tratamento e conversão, o pesquisador finalmente possui os arquivos no formato exigido pelos simuladores. No entanto, o fluxo de trabalho manual apresenta mais um desafio técnico. Esta etapa consiste em carregar os arquivos gerados como os scripts DSS para o *OpenDSS* na plataforma de simulação escolhida e configurar o ambiente para a análise desejada.

No exemplo de (DOMINGUES JUNIOR, 2022), após a conversão dos dados, foi necessário configurar o software *OpenDSS* para realizar as simulações de curto-circuito. Este

processo não é trivial e exige que o pesquisador tenha conhecimento aprofundado não apenas sobre sistemas elétricos, mas também sobre a sintaxe e o funcionamento específico da ferramenta de simulação. Qualquer erro introduzido nas etapas anteriores, como um parâmetro de transformador incorreto ou uma conexão de rede omitida, pode levar a simulações que não convergem ou, pior, que geram resultados fisicamente incoerentes, comprometendo toda a análise.

Uma vez que a simulação é executada com sucesso, os resultados brutos (níveis de tensão, correntes, perdas na linha, etc.) precisam ser extraídos e pós-processados. Esta análise final, que é o verdadeiro objetivo da pesquisa, depende inteiramente da integridade das etapas anteriores. O ciclo de "tentativa e erro" — comum quando se busca ajustar parâmetros ou corrigir inconsistências — torna-se extremamente lento e trabalhoso no fluxo manual, consolidando-se como mais um gargalo que demanda tempo e conhecimento técnico específico do pesquisador.

## **ENERGEO**

A função do ENERGEO é automatizar o acesso e a análise de redes elétricas, em resposta direta aos desafios impostos pelo fluxo de trabalho manual. Na Figura 4 observa-se a logo da aplicação em desktop do ENERGEO.

*Figura 4 - Logo do ENERGEO*



**Fonte:** Próprio autor

A ferramenta foi concebida para atuar como uma ponte integradora entre a complexa

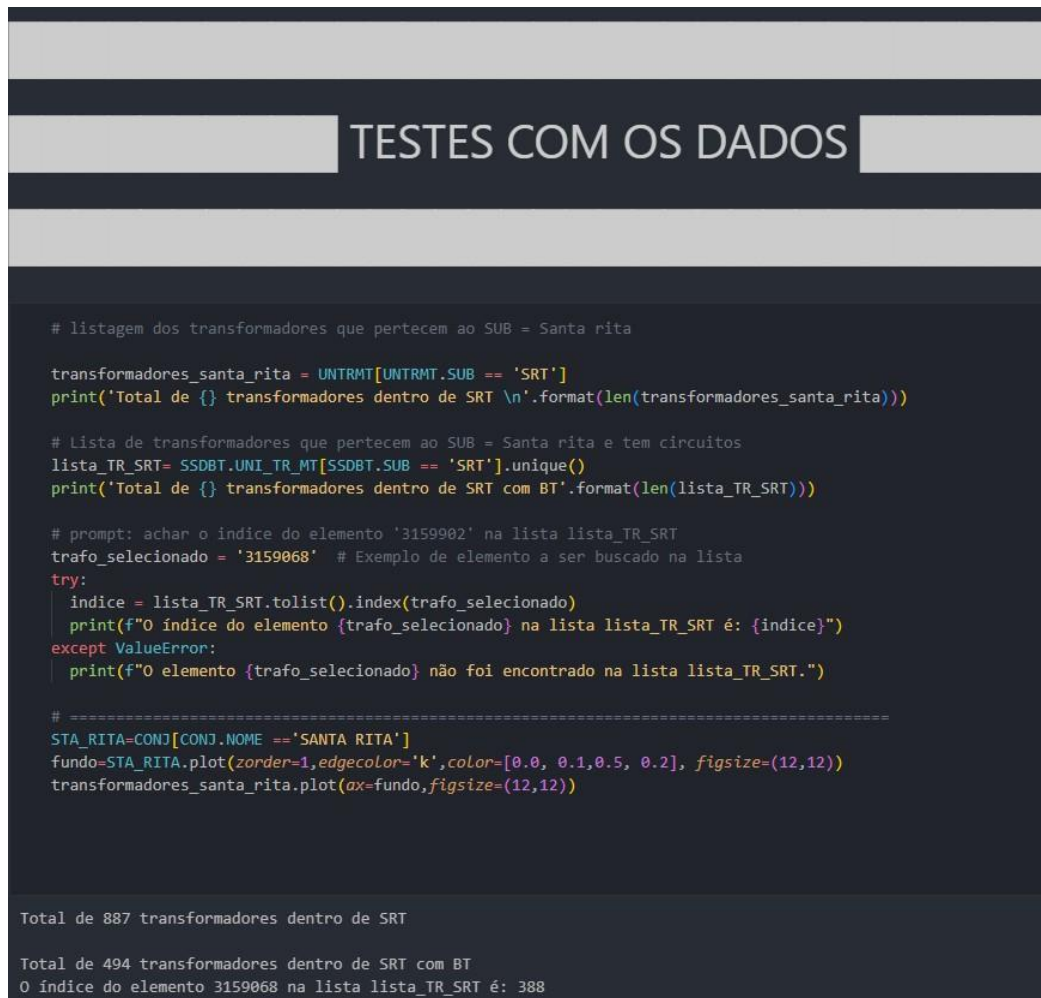
base de dados da ANEEL e os principais softwares de simulação do setor elétrico. Ao automatizar as etapas de extração, processamento e exportação, o ENERGEO posiciona-se como uma solução que visa não apenas a ganhos de eficiência, mas também a democratização do uso da BDGD por pesquisadores e profissionais da área. As seções seguintes descrevem a arquitetura e as funcionalidades que permitem à aplicação cumprir esses objetivos.

### Exploração e tratamento dos dados com *Python*

Antes da interface gráfica com as funcionalidades ser concebida foi necessário um estudo detalhado da base de dados. Este primeiro passo, foi dado explorado a base de dados via código *Python*, mais precisamente usando uma ferramenta chamada *Jupyter notebook* que oferece a liberdade de testa várias etapas do código de forma independente. Logo a ideia foi de explorar todas as mais de 40 camadas de interesse e selecionar quais iriam fazer parte da versão final do aplicativo, tendo em vista que a biblioteca usada para a interface gráfica é organizada por funções então essas células de código foram transformadas em funções para a *GUI*. É importante destaca que essa exploração preliminar foi de grande valia pois quando a interface gráfica estava sendo programada a maior parte dessas células foram reutilizadas nas funções para as rotinas e sub-rotinas específicas do aplicativo.

Na Figura 5 mostra-se umas das células importantes para o trabalho, onde depois do arquivo ser devidamente carregado e algumas camadas já serem processadas, começa a exploração dos dados via código. No caso da Figura 5 foi feito uma listagem dos transformadores da subestação de um determinado local (no caso da figura em específico foi selecionado “Santa Rita” e sua sigla correspondente era SRT) e logo a baixo tem um “*print*” dos valores retornados da busca feita no arquivo.

Figura 5 - Célula de exploração dos transformadores



```

TESTES COM OS DADOS

# listagem dos transformadores que pertencem ao SUB = Santa rita

transformadores_santa_rita = UNTRMT[UNTRMT.SUB == 'SRT']
print('Total de {} transformadores dentro de SRT \n'.format(len(transformadores_santa_rita)))

# Lista de transformadores que pertecem ao SUB = Santa rita e tem circuitos
lista_TR_SRT= SSDBT.UNI_TR_MT[SSDBT.SUB == 'SRT'].unique()
print('Total de {} transformadores dentro de SRT com BT'.format(len(lista_TR_SRT)))

# prompt: achar o índice do elemento '3159902' na lista lista_TR_SRT
trafo_selecionado = '3159068' # Exemplo de elemento a ser buscado na lista
try:
    indice = lista_TR_SRT.tolist().index(trafo_selecionado)
    print(f"O índice do elemento {trafo_selecionado} na lista lista_TR_SRT é: {indice}")
except ValueError:
    print(f"O elemento {trafo_selecionado} não foi encontrado na lista lista_TR_SRT.")

# =====
STA_RITA=CONJ[CONJ.NOME == 'SANTA RITA']
fundo=STA_RITA.plot(zorder=1,edgecolor='k',color=[0.0, 0.1,0.5, 0.2], figsize=(12,12))
transformadores_santa_rita.plot(ax=fundo,figsize=(12,12))

Total de 887 transformadores dentro de SRT

Total de 494 transformadores dentro de SRT com BT
O índice do elemento 3159068 na lista lista_TR_SRT é: 388

```

**Fonte:** Próprio autor

Na Figura 5 demonstra-se uma célula retirada do processo de tratamento de dados onde é recuperado da BDGD os dados referentes aos transformadores. No exemplo segue os parâmetros para a simulação em *OpenDSS*, então percebe-se como foi feita uma parte da recuperação dos dados para uma futura exportação.

Figura 6 - Código de recuperação de dados dos transformadores

```

print('Criando o arquivo do transformador\n')

if UNTRMT[UNTRMT.COD_ID == Trafo_sel].FAS_CON_T.iloc[0] == '0':
    print("! transformador de 2 enrolamentos")
    # Transformador de 2 enrolamentos
    print('New Transformer.TR-() phases = {} windings = 2 buses = ({} {}) consns = ({} {}) kvas = ({} {}) kvs = ({} {}) \
Xh1 = {} %r= {} %loadloss = {:.6f} taps = ({} {})' .format(UNTRMT[UNTRMT.COD_ID == Trafo_sel].COD_ID.iloc[0],
TFASCON[TFASCON.COD_ID==UNTRMT[UNTRMT.COD_ID == Trafo_sel].FAS_CON_5.iloc[0]].FASES.iloc[0], \
UNTRMT[UNTRMT.COD_ID == Trafo_sel].PAC_1.iloc[0],UNTRMT[UNTRMT.COD_ID == Trafo_sel].PAC_2.iloc[0],
ILIG[ILIG.COD_ID == int(EQTRMT[EQTRMT.UNI_TR_MT == Trafo_sel].LIG.iloc[0])).ENR1.iloc[0],
ILIG[ILIG.COD_ID == int(EQTRMT[EQTRMT.UNI_TR_MT == Trafo_sel].LIG.iloc[0])).ENR2.iloc[0],
EQTRMT[EQTRMT.UNI_TR_MT == Trafo_sel].POT_NOM.iloc[0], EQTRMT[EQTRMT.UNI_TR_MT == Trafo_sel].POT_NOM.iloc[0],
TTEN[TTEN.COD_ID == int(EQTRMT[EQTRMT.UNI_TR_MT == Trafo_sel].TEN_PRI.iloc[0])).TEN.iloc[0],
TTEN[TTEN.COD_ID == int(EQTRMT[EQTRMT.UNI_TR_MT == Trafo_sel].TEN_SEC.iloc[0])).TEN.iloc[0], EQTRMT[EQTRMT.UNI_TR_MT == Trafo_sel].Xh1.iloc[0],
EQTRMT[EQTRMT.UNI_TR_MT == Trafo_sel].R.iloc[0],
((EQTRMT[EQTRMT.UNI_TR_MT == Trafo_sel].PER_TOT.iloc[0] / 1000) / TPOTAPRT[TPOTAPRT.COD_ID == int(EQTRMT[EQTRMT.UNI_TR_MT == Trafo_sel].POT_NOM.iloc[0])).POT.iloc[0],
UNTRMT[UNTRMT.COD_ID == Trafo_sel].TAP.iloc[0], UNTRMT[UNTRMT.COD_ID == Trafo_sel].TAP.iloc[0]))

else:
    print("! transformador de 3 enrolamentos")
    # Transformador de 3 enrolamentos
    # print('New Transformer.TR-(nome_do_trafo) phases = {num_fases} indings = {num_enrolamentos} buses = {{bus_in} {bus_out1} {bus_out2_opt}} consns = {{enrol_1} {enrol_2} {enrol_3_opt}}
    # kvas = {{pot_1} {pot_2} {pot_3_opt}} kvs = {{tensão_1} {tensão_2} {tensão_3_opt}} Xh1 = {valor} %r= {valor} %loadloss = {valor} taps = {{valor_1} {valor_2} {valor_3_opt}}'.

Criando o arquivo do transformador

! transformador de 2 enrolamentos
New Transformer.TR-3159902 phases = 3 windings = 2 buses = (27206-12808096CF 3159902-12811384) consns = (delta wye) kvas = (16 16) kvs = (13800.0 220.0) Xh1 = 1.2 %r= 1.0 %loadloss

```

Fonte: Próprio autor

## Arquitetura e Desenho da aplicação

Nesta fase do desenvolvimento, o foco foi a criação de um modelo prévio da aplicação. Este modelo, concebido como um protótipo de baixa fidelidade, serviu como um guia visual para a estruturação das telas do aplicativo. A adoção desta abordagem é fundamental no desenvolvimento de software, pois facilita a programação do *layout* ao fornecer uma direção clara para a fase de implementação, garantindo que a estrutura visual e funcional esteja bem definida antes do início da codificação.

Nesta etapa, também foi definido o escopo de dados a ser utilizado no trabalho. Diante da existência de mais de 40 camadas de informações na BDGD, reconheceu-se a inviabilidade de desenvolver uma aplicação que explorasse todos os arquivos, uma vez que tal empreendimento demandaria um tempo e recursos superiores aos disponíveis. Dessa forma, optou-se por isolar um conjunto de camadas principais para a validação da ferramenta: as camadas UCBT, UCMT e UCAT foram selecionadas para exibição na tela de filtragem, além da camada ARAT, utilizada para apresentar a área de concessão da distribuidora.

## Tecnologias Utilizadas

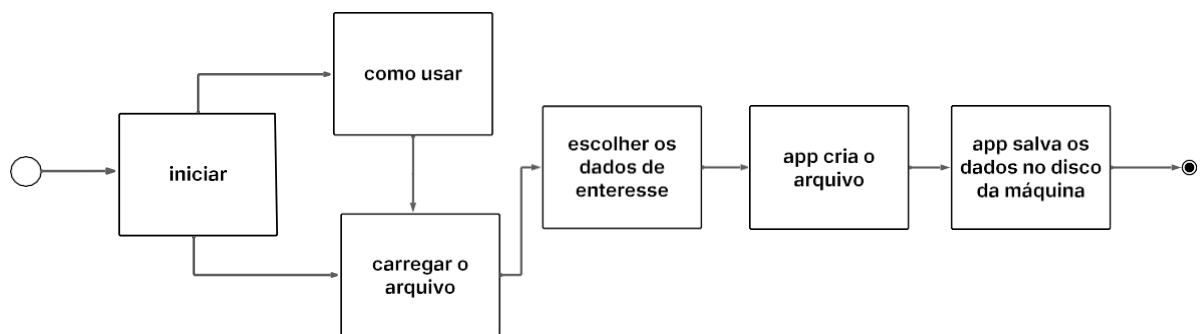
O ENERGEIO foi desenvolvido com a linguagem de programação *Python*. A escolha

da linguagem foi devido à sua versatilidade e ao seu robusto ecossistema de bibliotecas. As principais bibliotecas que foram usadas são: *GeoPandas* utilizada para a leitura, manipulação e processamento dos dados georreferenciados no formato *shp*; *Pandas* que serve como a base para o *GeoPandas*, sendo essencial para a estruturação, limpeza e análise de todos os dados não espaciais tabelados contidos nos arquivos da ANEEL, como informações sobre potência, tipo de transformador, etc; *NumPy* para o processamento numérico, estruturas de *arrays* e as funções matemáticas de alta performance que são a base para as operações realizadas pelo *Pandas* e *GeoPandas*; para a *GUI* a biblioteca escolhida foi o *CustomTkinter* que permite a criação de interfaces modernas e amigáveis; *Matplotlib*, utilizada para gerar as visualizações dos circuitos e plotar os diagramas da rede que podem ser visualizados na interface ou exportados como imagem, facilitando a análise visual e a documentação da pesquisa e *Folium*, usada para criar mapas interativos e permite a visualização dos dados georreferenciados sobre um mapa real baseado em tecnologias como *OpenStreetMap*, oferecendo uma contextualização geográfica mais rica dos circuitos.

### Estrutura do ENERGEIO

O ENERGEIO tem como estrutura principal uma interface simples que guia o leitor para enviar a base de dados para o software, são direcionadas perguntas específicas para ser gerado o arquivo para simulação. A Figura 7 mostra um fluxograma de como o ENERGEIO funciona.

Figura 7 - Fluxo de funcionamento do ENERGEIO



Fonte: Próprio autor

Foi desenvolvida uma interface gráfica que guia o pesquisador através de um fluxo de trabalho simplificado. A primeira inicial da aplicação recebe o usuário com boas vindas a baixo da logo dois botões um para iniciar a aplicação e outro para obter uma ajuda para novos

usuários, na Figura 8 tem-se a tela inicial do ENERGEIO.

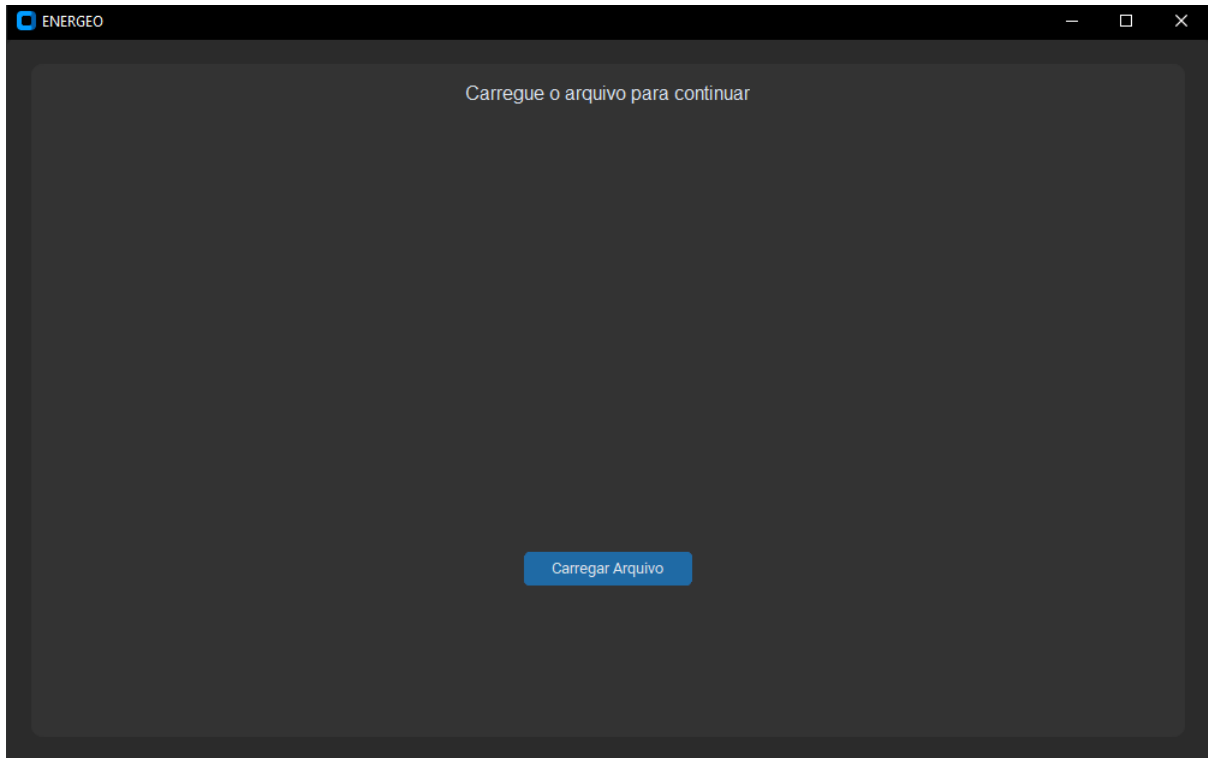
Figura 8 - Tela inicial do ENERGEIO



**Fonte:** Próprio autor

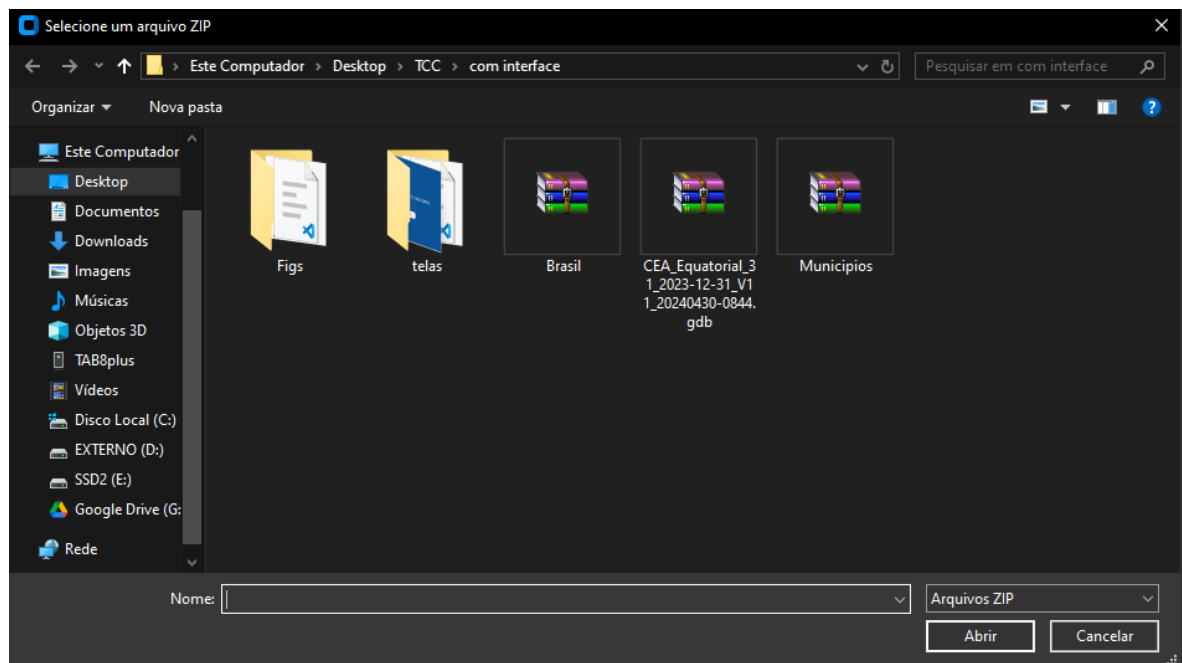
Ao clicar no botão iniciar o usuário será direcionado para uma tela padrão de carregamento direto dos arquivos pessoais no formato *shp* do BDGD. O usuário pode selecionar o arquivo já baixado das fontes da ANELL contendo as camadas de interesse, e a ferramenta se encarrega de identificá-las e carregá-las. As Figuras 9, 10 e 11 demonstram as etapas para o carregamento dos dados.

Figura 9 - Tela de carregamento do arquivo



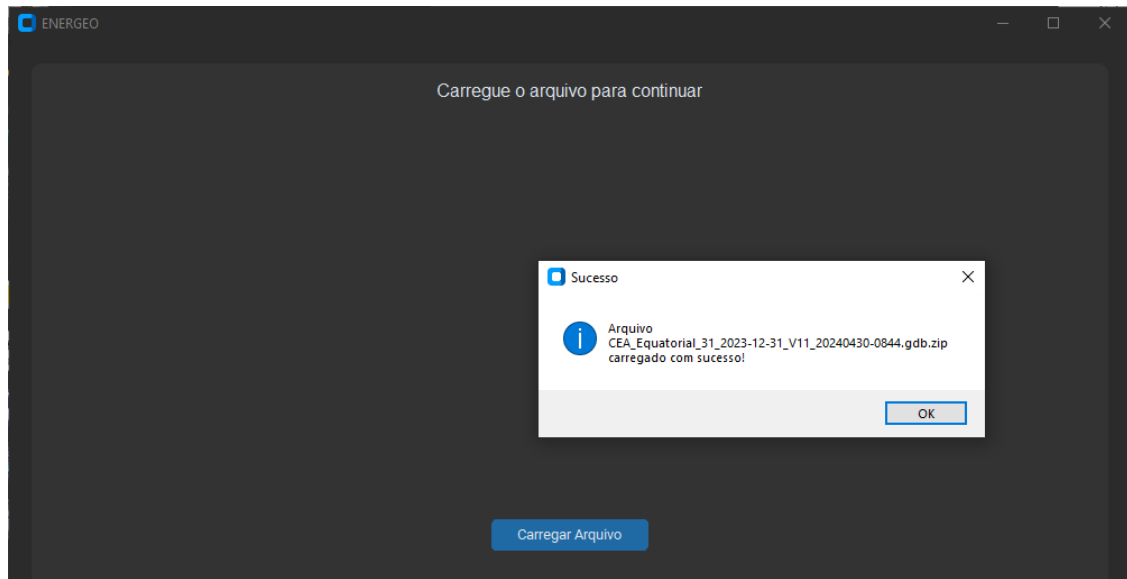
Fonte: Próprio autor

Figura 10 - Tela padrão de escolha do arquivo



Fonte: Próprio autor

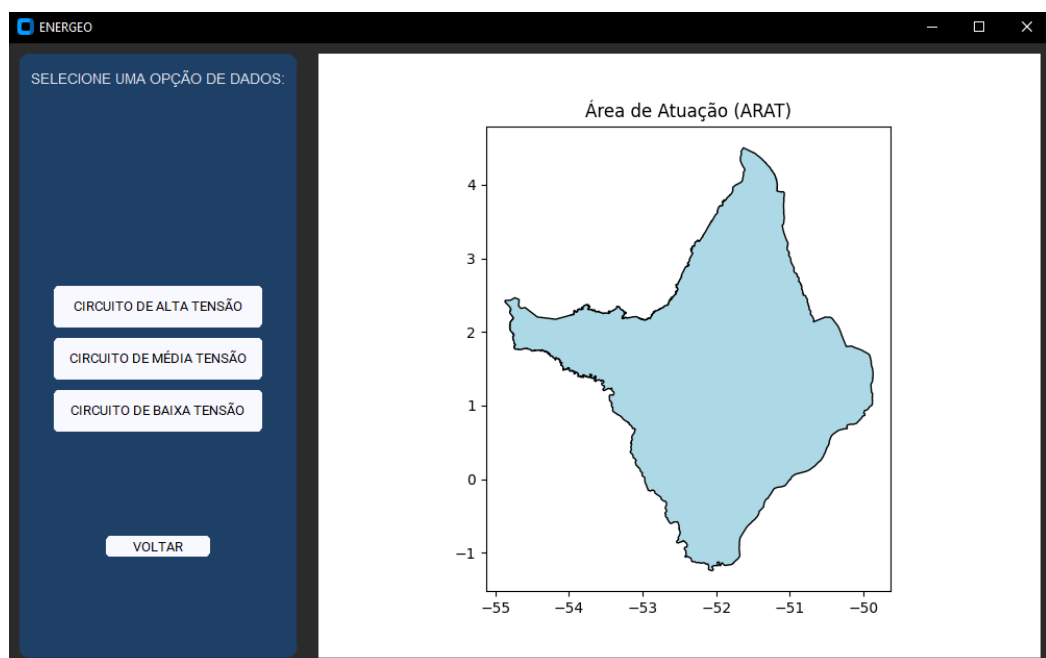
Figura 11 - Arquivo selecionado com sucesso



Fonte: Próprio autor

Após o carregamento correto do arquivo, o próximo passo é a filtragem e escolha de dados, conforme Figura 12. Vale ressaltar que na Figura 12 não aparece todas as camadas presentes no BDGD, pois a versão apresentada não engloba todas as subcamadas da base de dados. A escolha de não mostrar visualmente foi em decorrência do demorado tempo para o carregamento e plotagem de todos os detalhes. A tela a seguir demonstra as opções de camadas escolhidas pelo autor do trabalho para demonstrar a ferramenta funcionando.

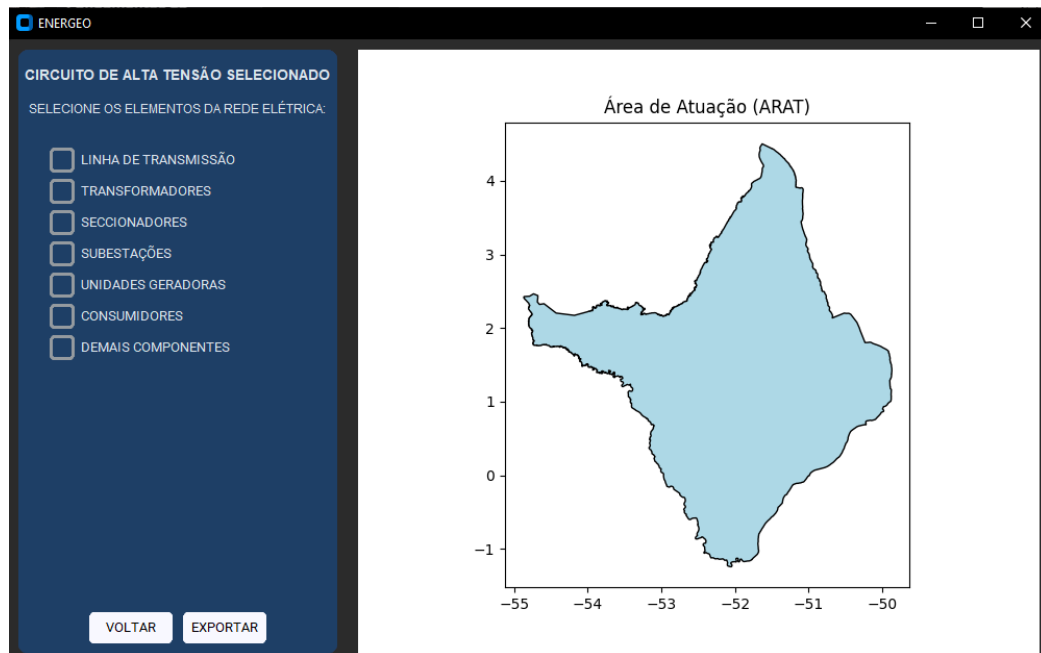
Figura 12 - Tela de filtragem dos dados



Fonte: Próprio autor

Após a escolha dentre uma das três opções de circuitos disponíveis, o usuário se depara com uma tela similar à mostrada na Figura 13, na qual foi escolhido o circuito de alta tensão. Esta etapa o usuário pode selecionar detalhes do circuito para exportação.

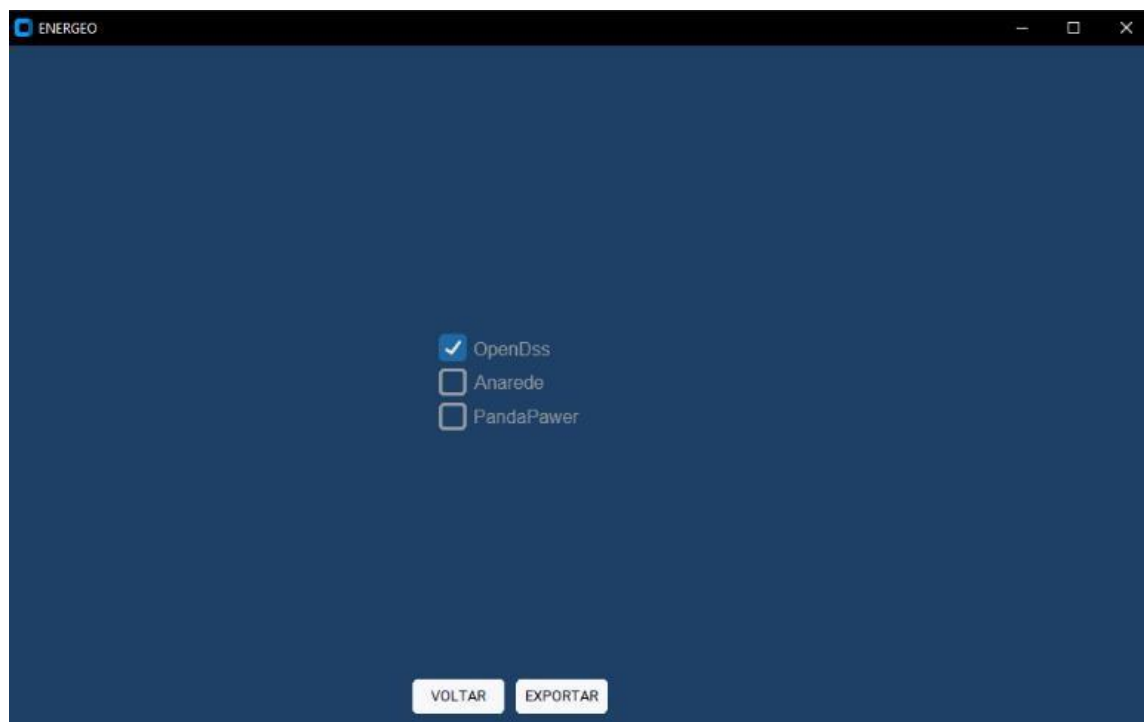
Figura 13 - Tela de Alta tensão



Fonte: Próprio autor

Na próxima etapa, Figura 14, o usuário já deve ter selecionado todas as opções de interesse dele agora só resta escolher em qual formato ele deseja exportar os dados para simulação. As opções disponíveis são *OpenDss*, *Anarede* e *PandaPower*, conforme comentadas no referido trabalho que são as mais frequentes a serem usadas.

Figura 14 - Tela de exportação dos dados



**Fonte:** Próprio autor

Por fim o arquivo é gerado e uma mensagem é mostrada para o usuário que a exportação foi bem sucedida e o arquivo foi salvo em uma pasta padrão do computador.

### Desafios Encontrados no Desenvolvimento

O desenvolvimento do ENERGEIO, embora bem-sucedido, apresentou desafios técnicos e conceituais que exigiram soluções específicas. O primeiro grande obstáculo foi a complexidade e a falta de padronização dos dados da BDGD. Conforme citado na literatura por (DOMINGUES JUNIOR, 2022; SILVA, 2022a), os dados brutos, apesar de ricos, frequentemente continham inconsistências, valores ausentes e erros de preenchimento que precisaram ser tratados programaticamente para garantir a integridade das exportações.

Um segundo desafio foi o desempenho da aplicação ao lidar com arquivos volumosos. A base de dados de uma única concessionária pode ultrapassar *gigabytes* de tamanho. Durante os testes iniciais, o carregamento e a filtragem de todas as camadas simultaneamente consumiam uma quantidade excessiva de memória e tempo de processamento. A solução foi otimizar as rotinas de leitura de dados, carregando apenas as informações essenciais sob

demanda e aplicando os filtros de forma sequencial, o que melhorou significativamente a responsividade da interface.

Por fim, a compatibilização dos dados para os diferentes simuladores (*OpenDSS*, *ANAREDE* e *PandaPower*) representou um desafio significativo. Cada *software* possui uma sintaxe, uma estrutura de dados e requisitos de parâmetros distintos. Foi necessário um estudo aprofundado da documentação de cada simulador para criar "tradutores" específicos que mapeassem corretamente os atributos da BDGD para os formatos de entrada exigidos, um processo manual que a ferramenta automatizou com sucesso.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com o desenvolvimento e a aplicação da ferramenta ENERGEIO. A principal contribuição deste trabalho materializa-se na própria aplicação, que automatiza o complexo fluxo de manipulação de dados da BDGD. Os resultados são divididos em duas seções: a primeira descreve as funcionalidades implementadas na ferramenta, e a segunda realiza uma análise comparativa entre o fluxo de trabalho manual e o automatizado proporcionado pelo ENERGEIO.

### **Aplicativo ENERGEIO: Funcionalidades e Operação**

O ENERGEIO foi desenvolvido como uma aplicação desktop funcional, atendendo a todos os objetivos específicos propostos neste trabalho. A ferramenta oferece uma interface gráfica do usuário (GUI) limpa e intuitiva, que guia o pesquisador por todas as etapas do processo, desde o carregamento dos dados brutos até a exportação final para os simuladores.

### **Carregamento e Processamento Inicial dos Dados**

Conforme demonstrado na Figura 9, o primeiro passo do usuário na aplicação é selecionar o arquivo da BDGD, baixado diretamente do portal da ANEEL. Ao selecionar o arquivo, a ferramenta executa as seguintes operações em segundo plano:

- Descompactação automática: Os dados são extraídos em um diretório temporário, eliminando a necessidade de o usuário realizar este passo manualmente.
- Identificação e Leitura das Camadas: O ENERGEIO, utilizando a biblioteca *GeoPandas*, identifica e carrega as principais camadas *shp* contidas no diretório, como a área de atuação (ARAT), unidades consumidoras (UCBT, UCMT), subestações (SUB), transformadores (UNTRD\_MT) e linhas de transmissão (SSDMT).
- Visualização da Área de Atuação: Imediatamente após o carregamento, a aplicação exibe um mapa com o polígono da área de concessão da distribuidora ARAT, fornecendo ao usuário uma confirmação visual de que os dados foram carregados corretamente.

## Filtragem e Seleção de Dados via Interface Gráfica

Uma vez carregados os dados, o ENERGEIO apresenta uma interface de filtragem que representa um dos avanços mais significativos em relação ao método manual. O usuário pode selecionar o nível de tensão de interesse (Alta, Média e Baixa Tensão) e, a partir dessa escolha, a interface se adapta para oferecer filtros contextuais.

Por exemplo, ao selecionar Circuito de Média Tensão, a aplicação permite que o usuário filtre os dados de forma sequencial e interativa:

**Seleção da Cidade:** Um menu suspenso é populado com os municípios presentes na base de dados, permitindo isolar a área de interesse.

**Seleção do Circuito/Alimentador:** Após escolher a cidade, um segundo menu lista os circuitos ou alimentadores disponíveis para aquele município.

**Seleção dos Elementos:** O usuário pode então marcar, através de *checkboxes*, quais elementos da rede elétrica deseja incluir na análise (ex.: Linhas de Distribuição, Unidades Geradoras, Consumidores, etc.).

Este processo guiado substitui a complexa tarefa de aplicar filtros espaciais e por atributos no *QGIS*, que, como descrito no trabalho de (DOMINGUES JUNIOR, 2022), é uma etapa manual e técnica.

### Exportação Automatizada para Simuladores:

Após a filtragem, a etapa final é a exportação. O ENERGEIO oferece opções para exportar os dados selecionados para os formatos nativos dos principais simuladores do setor:

- *OpenDSS*: A ferramenta gera os arquivos de script *dss*, criando as definições para cada elemento da rede (linhas, transformadores, cargas) de acordo com a sintaxe exigida pelo *OpenDSS*.
- *ANAREDE*: Os dados são estruturados e exportados em um formato compatível com o software da CEPEL.
- *PandaPower*: A aplicação gera arquivos no formato, que podem ser carregados diretamente em um ambiente *Python* para simulação com o *PandaPower*.

Ao final do processo, uma mensagem de sucesso confirma que os arquivos foram gerados e salvos em um diretório padrão, prontos para serem utilizados na simulação, concluindo o ciclo de trabalho de forma eficiente.

Exemplo de arquivo de saída gerado

A Figura 15 é exibição dos dados do “transformador 3159660” gerados pelo ENERGEIO na extensão *pwf*, abertos no *CEPEL*.

Figura 15 - Dados gerados e abertos no ANAREDE (CEPEL)

```

001 TITU
002 Dados do Transformador 3159660
003 (+-----+
004 (| TITULO DO CASO |
005 (+-----+
006
007 DBAR
008 (+-----+
009 (| DADOS DE BARRAS CA |
010 (+-----+
011 (Num)OETGb( nome )G1( V) ( A) ( Pg) ( Qg) ( On) ( Qm) (Bc ) ( Pl) ( Ql) ( Sh)Are(Vf)
012 1AL2 BARRA-----1 1000 0. 75.0 37.5-999999999
013 2AL1 BARRA-----2 1000 0. .0818.0081 1
014 3AL1 BARRA-----3 1000 0. 18.131.813 1
015 4AL1 BARRA-----4 1000 0. 6.804.6804 1
016 5AL0 BARRA-----5 1000 0.
017 6AL1 BARRA-----6 1000 0. 6.517.6517 1
018 7AL1 BARRA-----7 1000 0. 1.747.1747 1
019 8AL1 BARRA-----8 1000 0. 6.804.6804 1
020 9AL1 BARRA-----9 1000 0. 2.217.2217 1
021 10AL0 BARRA-----10 1000 0.
022 11AL0 BARRA-----11 1000 0.
023 12AL0 BARRA-----12 1000 0.
024 13AL1 BARRA-----13 1000 0. 2.217.2217 1
025 14AL1 BARRA-----14 1000 0. 6.517.6517 1
026 15AL1 BARRA-----15 1000 0. 8.135.8135 1
027 16AL0 BARRA-----16 1000 0.
028 17AL1 BARRA-----17 1000 0. 1.747.1747 1
029 18AL1 BARRA-----18 1000 0. .0188.0018 1
030 19AL1 BARRA-----19 1000 0. 2.941.2941 1
031 20AL1 BARRA-----20 1000 0. .9782.0978 1
032 21AL1 BARRA-----21 1000 0. 2.217.2217 1
  
```

Fonte: Próprio autor

Já na Figura 16 mostra-se os dados do “transformado 3159660” exportados no formato do *OpenDSS*, abertos no *Notepad++* para verificação.

Figura 16 - Dados gerados para o OpenDSS

```

1 ! Transformador de 2 enrolamentos
2 New Transformer_TR-3159660 phases = 3 windings = 2 buses = (27008-12805477CF 3159660-12806442)
3 comns = (delta wye) kvas = (16 16) kvs = (13800.0 220.0) Xh1 = 1.2 %r = 1.0 %loadloss = 1.680000 taps = (1.02 1.02)
4
  
```

Fonte: Próprio autor

Na Figura 17 demonstra-se parte dos dados de linhas, também no formato do *OpenDSS* e abertos para verificação no *Notepad++*.

Figura 17 - Dados das linhas para exportados para OpenDSS

Line ID	Line Name	bus1	bus2	linecode	length	units	enabled
1	New Line.3159660_15130554	3159660-12806289	3159660-12926831	B30_10	15.4539	m	true
2	New Line.3159660_15009882	3159660-12807008	3159660-12806800	B30_10	37.0725	m	true
3	New Line.3159660_15009881	3159660-12806441	3159660-12807008	B30_10	29.5800	m	true
4	New Line.3159660_15009752	3159660-12806799	3159660-12806450	B30_10	29.5976	m	true
5	New Line.3159660_15009545	3159660-12806443	3159660-12806095	B30_10	34.9192	m	true
6	New Line.3159660_15009496	3159660-12806800	3159660-12806801	B30_10	32.8719	m	true
7	New Line.3159660_15009495	3159660-12806286	3159660-12806451	B30_10	6.4510	m	true
8	New Line.3159660_15009494	3159660-12806094	3159660-12806798	B30_10	22.5846	m	true
9	New Line.3159660_15009493	3159660-12806798	3159660-12806799	B30_10	30.6000	m	true
10	New Line.3159660_15009418	3159660-12806096	3159660-12806288	B30_10	16.4470	m	true
11	New Line.3159660_15009193	3159660-12806094	3159660-12806452	B30_10	23.5318	m	true
12	New Line.3159660_15009192	3159660-12806442	3159660-12806286	B30_10	28.5782	m	true
13	New Line.3159660_15009191	3159660-12806451	3159660-12806093	B30_10	42.8521	m	true
14	New Line.3159660_15009190	3159660-12806450	3159660-12806448	B30_10	33.6755	m	true
15	New Line.3159660_15009189	3159660-12806448	3159660-12806449	B30_10	33.6600	m	true
16	New Line.3159660_15009183	3159660-12806442	3159660-12806443	B30_10	32.6559	m	true
17	New Line.3159660_15009182	3159660-12806094	3159660-12806441	B30_10	9.3066	m	true
18	New Line.3159660_15009080	3159660-12806288	3159660-12806289	B30_10	20.6652	m	true
19	New Line.3159660_15009079	3159660-12806286	3159660-12806287	B30_10	29.7230	m	true
20	New Line.3159660_15008963	3159660-12806095	3159660-12806096	B30_10	36.8473	m	true
21	New Line.3159660_15008962	3159660-12806093	3159660-12806094	B30_10	8.3645	m	true
22	New Line.3159660_15008962_C	3159660_PAC_001	3159660_PAC_001	C10_10	8.3645	m	true
23	New Line.3159660_15008963_C	3159660_PAC_001	3159660_PAC_002	C10_10	36.8473	m	true
24	New Line.3159660_15009079_C	3159660_PAC_002	3159660_PAC_003	C10_10	29.7230	m	true
25	New Line.3159660_15009080_C	3159660_PAC_003	3159660_PAC_004	C10_10	20.6652	m	true
26	New Line.3159660_15009182_C	3159660_PAC_004	3159660_PAC_005	C10_10	9.3066	m	true
27	New Line.3159660_15009183_C	3159660_PAC_005	3159660_PAC_006	C10_10	32.6559	m	true
28	New Line.3159660_15009189_C	3159660_PAC_006	3159660_PAC_007	C10_10	33.6600	m	true
29	New Line.3159660_15009190_C	3159660_PAC_007	3159660_PAC_008	C10_10	33.6755	m	true

Fonte: Próprio autor

### Análise Comparativa: Fluxo Manual vs. Fluxo Automatizado com ENERGEO:

Para quantificar o impacto da ferramenta, realizou-se uma análise comparativa entre o fluxo de trabalho manual, detalhado no Capítulo 3, e o fluxo automatizado com o ENERGEO.

Tabela 1 - Comparativo dos métodos manuais x automatizado ENE-GEO

Critério de análise	Fluxo de trabalho manual	Fluxo Automatizado com ENERGEO	Ganho de Eficiência
Tempo estimado	2 a 8 horas (dependendo da complexidade da rede e da experiência do usuário).	5 a 15 minutos.	Redução de até 97% no tempo gasto em preparação de dados.
Software requerido	QGIS (ou similar), Editor de planilhas (Excel), Ambiente de programação (Python/Jupyter).	Apenas o aplicativo ENERGEO.	Centralização de todas as etapas em uma única ferramenta.
Conhecimento técnico	Requer conhecimento em Geoprocessamento (SIG), manipulação de planilhas e programação.	Requer apenas o conhecimento do domínio (setor elétrico) para selecionar os dados corretos.	Democratização do acesso, removendo a barreira técnica da programação e SIG.
Susceptibilidade a erros	Alta. Erros podem ocorrer na descompactação, na aplicação de filtros, na conversão de unidades ou na formatação manual dos arquivos de saída.	Baixa. O processo padronizado e automatizado minimiza a chance de erro humano.	Aumento da confiabilidade e reprodutibilidade dos dados de entrada para a simulação.

Fonte: Próprio autor

## **Discussão dos Resultados**

Os resultados demonstram que o ENERGEIO cumpre seu objetivo principal: otimizar e democratizar o acesso aos dados da BDGD.

A redução no tempo de preparação dos dados é o resultado mais evidente. Tarefas que antes consumiam horas ou até dias de trabalho manual e repetitivo, como destacado por Silva (2022a), agora podem ser concluídas em minutos. Isso libera o pesquisador para focar naquilo que realmente agrega valor: a análise dos resultados da simulação e a formulação de novas hipóteses.

Além disso, ao centralizar todas as etapas em uma única interface gráfica, o ENERGEIO elimina a "fragmentação de ferramentas" do processo manual. O usuário não precisa mais alternar entre um software de SIG, planilhas e scripts de programação. Essa integração não só simplifica o processo, mas também reduz significativamente a barreira técnica, tornando a BDGD acessível a um público mais amplo, incluindo engenheiros, estudantes e analistas que não possuem formação avançada em computação.

Por fim, a padronização do fluxo de trabalho aumenta a confiabilidade e a reprodutibilidade da pesquisa. Ao garantir que os dados são processados e exportados sempre da mesma maneira, a ferramenta minimiza a ocorrência de erros humanos que poderiam comprometer a validade de uma simulação.

Em suma, o ENERGEIO se posiciona como uma solução prática e eficaz para um problema real da comunidade acadêmica e profissional, servindo como uma ponte robusta entre o vasto repositório de dados geográficos das distribuidoras, disponibilizados pela ANEEL.

## 5 CONCLUSÕES

A plena utilização do BDGD da ANEEL, uma fonte de dados de grande valor para o setor elétrico brasileiro, tem sido restringida por um fluxo de trabalho predominantemente manual, complexo e suscetível a erros. Este processo necessita de um entendimento em geoprocessamento e programação, criando um entrave maior para muitos pesquisadores e profissionais. Diante deste desafio, o presente trabalho se dedicou ao desenvolvimento da aplicação desktop ENERGEIO, uma ferramenta concebida para preencher essa lacuna, simplificando e automatizando a extração, o processamento e a exportação dos dados da BDGD.

O desenvolvimento, realizado na linguagem *Python* e com o suporte de bibliotecas robustas como *GeoPandas* e *CustomTkinter*, materializou-se em uma aplicação funcional com uma interface gráfica intuitiva. O ENERGEIO demonstrou sucesso em todos os objetivos propostos, guiando o usuário desde o carregamento dos arquivos brutos até a exportação final de dados em formatos diretamente compatíveis com os principais softwares de simulação do mercado, como *OpenDSS*, *ANAREDE* e *PandaPower*.

Os resultados apresentados no Capítulo 4 evidenciam o impacto transformador da ferramenta. A análise comparativa revelou uma redução drástica no tempo de preparação de dados, que passou de um intervalo de 2 a 8 horas no fluxo manual para apenas 5 a 15 minutos com o ENERGEIO, representando um ganho de eficiência de até 97%. Além de otimizar o tempo, a automação minimiza a chance de erros humanos e centraliza em uma única plataforma as tarefas que antes exigiam o uso fragmentado de múltiplos softwares, como QGIS e editores de planilhas.

Desta forma, a principal contribuição deste trabalho é a democratização do acesso à BDGD, com a facilidade de extração dos dados elétricos de maneira simples e intuitiva. Ao eliminar barreiras técnicas, o ENERGEIO permite que pesquisadores e profissionais concentrem seus esforços na análise crítica dos resultados, na formulação de novas hipóteses e na inovação, em vez de se dedicarem a tarefas operacionais repetitivas. A aplicação posiciona-se como uma ponte eficaz e robusta entre os dados brutos da ANEEL e as plataformas de análise, contribuindo para maior agilidade, reprodutibilidade e padronização nos estudos de redes elétricas no Brasil.

## Limitações e Trabalhos Futuros

É importante reconhecer as limitações da presente versão do ENERGEO para contextualizar suas contribuições e direcionar trabalhos futuros. Embora a ferramenta cumpra seus objetivos, ela possui limitações relacionadas ao escopo e, mais criticamente, à qualidade dos dados de origem.

A primeira limitação reside no escopo de dados abordado, que foi focado nas camadas mais relevantes para estudos de redes elétricas a fim de garantir a viabilidade do projeto. Adicionalmente, por ser uma aplicação desktop, seu desempenho pode variar conforme o hardware do usuário e o volume de dados.

Contudo, a limitação mais significativa e que impacta diretamente os resultados da simulação é a dependência da qualidade dos dados da BDGD. O ENERGEO automatiza a extração e a formatação, mas não corrige erros inerentes ao cadastro realizado pelas concessionárias. Os maiores problemas encontrados na exportação decorrem justamente da falta de padronização e de inconsistências nesses dados. Dados errados no arquivo de origem acarretam a exportação de dados incorretos para a simulação. Dois exemplos comuns ilustram essa questão:

**Inconsistências de Dados:** É frequente encontrar Unidades Consumidoras (UCs) cadastradas com potência zerada.

**Descontinuidade Topológica:** Muitas vezes, linhas de transmissão ou distribuição que deveriam ter uma sequência lógica (ex: um trecho de A para C com um poste B no meio, resultando nos segmentos A-B e B-C) são cadastradas com nomes de nós inconsistentes (ex: A-B e B1-C).

Nesses cenários, o ENERGEO exporta os dados exatamente como os encontra. No entanto, os arquivos gerados, embora sintaticamente corretos, não funcionarão nas simulações devido a erros lógicos, como cargas nulas ou trechos de rede descontinuados. Portanto, a eficácia do estudo final permanece dependente da qualidade do dado bruto fornecido pela concessionária, uma questão que transcende o escopo da automação de processos.

As limitações atuais, contudo, abrem caminho para diversas oportunidades de pesquisas e desenvolvimentos futuros. Sugere-se:

A expansão do ENERGEO para que contemple a totalidade das camadas da BDGD.

O desenvolvimento de módulos de validação e tratamento de dados, capazes de identificar e sinalizar ao usuário inconsistências comuns, como as UCs com potência zerada ou os trechos de rede descontinuados, aumentando a confiabilidade do processo.

A adição de novos formatos de exportação para outros simuladores e a incorporação de funcionalidades de análise e visualização de dados diretamente na interface.

O desenvolvimento de uma versão web da aplicação, visando maior acessibilidade e colaboração.

A utilização da ferramenta em um estudo de caso aprofundado para resolver um problema de otimização de rede, validando seu impacto prático na pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Dados Abertos**. Brasília, DF: ANEEL, 2022. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/>. Acesso em: 08 ago. 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Manual de Instruções da Base de Dados Geográfica da Distribuidora (BDGD)**. Brasília, DF: ANEEL, 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Módulo 10. Brasília, DF: ANEEL, 2023.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução Normativa nº 730, de 17 de maio de 2016**. Estabelece o Módulo 10 dos Procedimentos de Distribuição. Brasília, DF: ANEEL, 2016.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução Normativa nº 876, de 10 de março de 2020**. Estabelece os critérios e prazos para envio das informações da BDGD. Brasília, DF: ANEEL, 2020.
- CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA (CEPEL). **ANAREDE – Análise de Redes: Manual do Usuário**. Versão 11.5. Rio de Janeiro: CEPEL.
- DOMINGUES JUNIOR, Douglas. **Coordenação da Proteção de um Alimentador em Curitiba-PR Usando OpenDSS, BDGD e QGIS**. 2022. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2022.
- ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI). **OpenDSS - Open Distribution System Simulator: User Manual**. Versão 2.0, Palo Alto, CA: EPRI.
- JOHNSON, Jeff. **Designing with the Mind in Mind: Simple Guide to Understanding User Interface Design Rules**. 3. ed. Cambridge: Morgan Kaufmann, 2021.
- MORAIS, Sueleyman B. de. **Automação & Sociedade: Quarta Revolução Industrial**. Rio de Janeiro: Brasport, 2018.
- SANTOS, B. **Modelagem de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica a Partir da Base de Dados Geográfica da ANEEL**. 2021. 7 p. Artigo (paper) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2021.
- SCHWAB, Klaus. **A Quarta Revolução Industrial**. São Paulo: Edipro, 2019.
- SILVA, Hioran da. **Ferramenta computacional para criação de modelos de alimentadores reais de distribuição no OpenDSS a partir de dados disponibilizados pela ANEEL**. 2022a. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

SILVA, Marcos da. **Análise dos impactos técnicos da geração distribuída fotovoltaica em redes de distribuição**. 2022b. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

SUN, Y. et al. **Electrification Futures Study: Methodological Approaches for Assessing Long-Term Power System Impacts of End-Use Electrification**. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2020. (NREL/TP-6A20-72342).

UNIVERSITÄT KASSEL. **pandapower - Documentation**. Versão 3.1.2. Kassel: Universität Kassel, 2024. Disponível em: <https://pandapower.readthedocs.io/en/latest/>. Acesso em: 01 jan. 2025