Plataforma Computacional em OpenDSS para simulação de Agregadores e Usinas Virtuais Urbanas

Italo Garcia Campos do Canto   
Programa de Pós Graduação em Engenharia de SistemasUniversidade de PernambucoRecife, Pernambuco  
ORCID: 0000-0002-4067-5657Manoel H. da Nóbrega Marinho  
Programa de Pós Graduação em Engenharia de SistemasUniversidade de PernambucoRecife, Pernambuco  
ORCID: 0000-0003-3129-0453Roberto Feliciano Dias Filho  
Programa de Pós Graduação em Engenharia de SistemasUniversidade de PernambucoRecife, Pernambuco  
ORCID: 0000-0003-2032-9535

*Abstract*—O proposito deste artigo é apresentar uma simulação computacional de um projeto fictício, porém teoricamente aplicável, de uma Virtual Power Plant (VPP), em um conjunto residencial de edifícios. O projeto prevê o uso de geração solar e armazenamento distribuído para composição dos Recursos Energéticos Distribuídos (RED). A agregação de cada RED dos edifícios residenciais irá compor a VPP e serão abordados alguns cenários do arranjo previsto. A simulação está sendo desenvolvida com o programa OpenDSS, de licença OpenSource, muito utilizado por distribuidores de energia, em conjunto com a linguagem Python.

Palavras chave—virtual power plant, recursos energéticos distribuídos, agregadores, opendss, python.

# Introdução

O Acordo de Paris, assinado durante a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2015 (COP-21), definiu objetivos de redução de emissões de gases do efeito estufa, visando à limitação do aquecimento global em níveis abaixo de 2°C até o fim do século 21 [1]. O Brasil assumiu compromissos de maneira voluntária para redução do lançamento de CO2 na atmosfera. Durante a COP-26 de 2021, realizada em Glasgow, na Escócia, o Acordo de Paris foi debatido e os países reforçaram os compromissos assumidos. O governo brasileiro se comprometeu a ampliar as metas estabelecidas anteriormente, com um novo alvo de redução de 50% das emissões de gases do efeito estufa até 2030 e a neutralização total do carbono até 2050 [2]. Uma forma eficiente de atingir estas metas é investir cada vez mais em fontes de energia mais sustentáveis.

A Tabela 1 apresenta os percentuais dos tipos de matrizes energéticas no Brasil e no mundo num contexto geral. Nota-se que o Brasil possui a matriz energética quase correspondendo a 50% para fontes renováveis e 50% para as não renováveis. Nota-se também que as matrizes utilizadas pela maioria dos países do mundo são não renováveis. A Tabela 2 apresenta os percentuais das matrizes para a geração de energia elétrica de onde se obtém que mais de 80% das fontes são oriundas de matrizes renováveis em contraste com as fontes utilizadas no mundo.

O Brasil possui diversos desafios abordados no Plano Nacional de Energia 2050 [3] que é o conjunto de estudos e diretrizes para estratégias de longo prazo para o setor energético do país. Sobre a transmissão do sistema, são citadas a substituição da infraestrutura do sistema elétrico à medida que ela for envelhecendo quando os ativos tiverem vida útil técnica e regulatória superadas. Para tal serão necessários significativos investimentos, seguidos de um planejamento desta substituição. Para alguns equipamentos, o envelhecimento do sistema é potencializado pela inserção massiva de fontes renováveis variáveis na rede, o que implica ciclos de carregamento e operação distintos e mais severos quando comparados aos projetos originais dos equipamentos.

Com os avanços tecnológicos em Redes Elétricas Inteligentes, Geração Distribuída e Armazenamento Distribuído, espera-se que o sistema elétrico ganhe flexibilidade, torne-se mais dinâmico aos requisitos operativos instantâneos, e acomode variações de geração, principalmente por conta das fontes fotovoltaica e eólica. A incorporação das diferentes formas ou tecnologias de armazenamento trará uma nova dinâmica à operação do sistema elétrico, o que faz dessa questão um aspecto importante a ser considerado.

O planejamento do sistema de distribuição precisará ser avaliado com integração com a rede de alta tensão contemplando a inversão da direção dos fluxos durante alguns períodos, ou seja, da rede de baixa/média tensão, na qual haverá geração distribuída. Diante deste cenário, faz sentido estudar a associação de Geração Distribuída com Armazenamento Distribuído como forma de suprir energia elétrica para a carga em horários importantes do dia como os de pico.

Neste artigo serão apresentados os conceitos básicos sobre Geração Distribuída, Armazenamento Distribuído, *Smart Grid*, Microrredes, Usinas Virtuais de Energia e breves comentários sobre a legislação brasileira referente ao tema. Em seguida, serão apresentadas as metodologias utilizadas para a realizar uma simulação computacional de uma agregação de uma Usina Virtual e discussões sobre os resultados.

# Definições

O desenvolvimento tecnológico dos últimos anos tem aperfeiçoado ou permitido novos meios de geração de energia. A Geração Distribuída, ou simplesmente GD, é um termo para designar a geração de energia elétrica realizada próxima do consumidor, independente da potência, tecnologia empregada ou tipo de fonte de energia. Este conceito engloba equipamentos de medida, controle e comando que gerenciam a operação dos geradores e o controle de cargas de acordo com a demanda de energia [7].

Com a necessidade de redução da dependência de combustíveis fósseis e a precaução cada vez maior da utilização de fontes renováveis de energia para manutenção de recursos naturais, no ano 2040 cerca de 30% da eletricidade mundial será fornecida por energia eólica e solar fotovoltaica. Esta categoria de Geração Distribuída é classificada como Energia Renovável Variável – ERV e tornar-se-á a principal fonte de eletricidade na União Europeia em 2030 e nos Estados Unidos, China e Índia em 2035 [8].

Os sistemas ERV vêm se tornando economicamente acessíveis a consumidores de diversos portes possibilitando que os mesmos possam gerar parte ou toda energia necessária de sua própria demanda. Desta forma, os consumidores estão também se tornando produtores de energia. Nas literaturas técnicas, inclusive na de países de língua inglesa, existe um neologismo chamado “prossumidor” ou “prosumer” [9] resultante da fusão das palavras “produtor” e “consumidor”, significando aquele que produz e consome. Num sistema elétrico, adquire o significado de quem gera e também consome energia.

O Armazenamento Distribuído, ou simplesmente AD, é a utilização de tecnologias para armazenamento de energia, com o objetivo de suprimento e gerenciamento, controle de tensão, controle de frequência, equilíbrio de carga e outros. É composto por fontes de diversos tipos como elétrica, eletroquímica, químicas, mecânica ou térmica. Cada uma possui vantagens e desvantagens que devem ser avaliadas em cada caso de uso [10]. Destas, destaca-se o Sistema de Armazenamento de Energia por Baterias – SAEB, ou *Battery Energy Storage System – BESS* em inglês, composto por baterias eletroquímicas compostas por baterias de chumbo-ácido, íon-lítio, sódio-enxofre, por ter custo aceitável, alta eficiência, baixo tempo de resposta em operação, entre outras características [11].

Os Recursos Energéticos Distribuídos – RED, ou *Distributed Energy Resources – DER* em inglês, são definidos como tecnologias de geração e/ou armazenamento de energia elétrica, localizados dentro dos limites da área de uma determinada concessionária de distribuição, normalmente junto a unidades consumidoras, atrás do medidor (*behind the-meter*) [12]. Os REDs contemplam a Geração Distribuída (GD), Armazenamento Distribuído (AD), veículos elétricos (VE) e estrutura de recarga, eficiência energética e resposta da demanda (RD).

## Smart Grid

*Smart Grid* é um conceito que combina todo o sistema de geração e distribuição de energia em uma única rede. Um de seus recursos é a Medição Inteligente que em conjunto com sistemas de comunicação permite que ocorra monitoramento de consumo de energia em tempo real. Estas e outras características possibilitam o uso em Sistemas de Comunicação Bidirecional, Geração Distribuída, Armazenamento Distribuído, Resposta em Demanda, Segurança de dados/segurança cibernética e outros. *Smart Grid* é um item importante na busca de redes elétricas mais eficientes [13].

## Microrredes

A junção de vários tipos de GD dá origem a usinas híbridas que são vistas como uma forma de otimizar o uso da rede de transmissão, bem como reduzir a variabilidade diária e mensal de fontes como eólica e solar [14]. A integração de vários recursos de Geração Distribuída, Armazenamento Distribuído e cargas como um sistema elétrico completo, interconectado, dá origem às Microrredes que atuam dentro de limites elétricos bem definidos e como uma única entidade controlável [15][16].

## Usinas Virtuais de Energia e agregação

A Usina Virtual de Energia, ou *Virtual Power Plant – VPP* em inglês*,* é um conceito que ainda não está totalmente definido [17]. Há autores que o abordam como uma microrrede autônoma. Outros definam uma VPP como uma agregação de diferentes tipos de Recursos Energéticos Distribuídos compostos por unidades de geração e de armazenamento que podem estar dispersos em diferentes pontos da rede de distribuição, mas que operam como uma única usina de energia, por uma entidade de controle central. A concepção de uma VPP deve permitir uma integração mais eficaz das energias renováveis e ser capaz de contribuir para um fornecimento de energia confiável e ambientalmente orientado [18].

Agregadores são grupos de agentes em um sistema elétrico composto por consumidores, produtores e prossumidores para atuar como uma única entidade. Os operadores de uma VPP agregam REDs para se comportarem como uma Usina Elétrica tradicional com atributos como capacidade de fornecimento de energia e outros, para participar de mercados de energia ou serviços auxiliares. Para que possa ocorrer um ambiente adequado de atuação de agregadores em uma VPP, são necessários requisitos técnicos, regulatórios e definições de atuação dos agentes envolvidos [19].

## Diferenças entre Usinas Virtuais e Microrredes

Os conceitos de VPPs e microrredes possuem várias semelhanças, mas há pontos importantes que permitem uma diferenciação [20]:

* Localidade – Em uma microrrede, os REDs estão localizados dentro de uma mesma rede de distribuição local e visam atender principalmente a demanda local. Em uma VPP, os REDs não estão necessariamente localizados na mesma rede local e são coordenados em uma ampla área geográfica. A produção agregada da VPP participa da negociação tradicional nos mercados de energia.
* Tamanho – A capacidade instalada das microrredes é normalmente relativamente pequena (de poucos kW a vários MW), enquanto a potência nominal de um VPP pode ser muito maior.
* Atendimento – Uma microrrede foca na satisfação do consumo local, enquanto um VPP trata o consumo apenas como um recurso flexível que participa da comercialização agregada de energia via remuneração por distribuidoras de energia.

## Regulação no Brasil

Em abril de 2012, entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, que trata da Micro e da Minigeração Distribuída que permite que os consumidores possam gerar a própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou via cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição da localidade [21].

A Resolução normativa 687/2015 altera a Resolução nº 482 e os módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Os principais pontos abordados são o aumento do limite de 1 MW para 5 MW, mudança na validade dos créditos de três para cinco anos e criação das modalidades de empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada e autoconsumo remoto [22].

Em janeiro de 2022 foi publicado a Lei 14.300/2022 que é o marco legal da Micro e Minigeração de energia. A lei dá a segurança jurídica às unidades consumidoras que produzem energia a partir de fontes renováveis, como a solar fotovoltaica, a eólica, a de centrais hidrelétricas e a de biomassa [23].

# Metodologia

Para demonstrar a agregação de Recursos Energéticos Distribuídos para composição de uma VPP será apresentado um projeto fictício, porém aplicável, de geração solar com armazenamento distribuído num conjunto residencial na cidade do Recife-PE, situado entre a avenida Recife, rua Jean Emile Favre, rua Silveira Neto e rua Saldanha Marinho. A localidade foi escolhida por possuir uma grande quantidade de edifícios com tamanhos regulares, bem distribuídos, em área aberta e com rede de distribuição de energia ao redor de cada quarteirão.

Cada edifício possui 18,20m x 7,50m em blocos de 20 ou 14 prédios por quarteirão, resultando em 136 edifícios conforme a Figura 1. Como forma de se obter uma modularidade na geração e no armazenamento de energia, os edifícios serão separados por grupos e subgrupos conforme a Figura 2. O grupo A será dividido em 4 subgrupos com 5 edifícios cada. O mesmo se aplica para os grupos B, C e D que são semelhantes. O grupo E será dividido em 4 subgrupos de modo que dois destes subgrupos terão 4 edifícios e os outros dois com 3 edifícios cada. Os grupos F, G e H são semelhantes ao grupo E.

A geração solar será composta por painéis solares com dimensões de 1,00m x 1,65m e o Armazenamento Distribuído deverá ser composto por bateriais de chumbo-ácido instaladas nas proximidades de cada edifício. Desta forma, cada edifício se tornará um agregador com geração e armazenamento de energia.

Os painéis escolhidos possuem potência de 300Wp. Tanto o tamanho como a potência de cada painel foram definidas por serem itens normalmente disponíveis em fornecedores de energia, embora já existam painéis com potências maiores que a utilizada neste exemplo.

A Tabela 3 apresenta a divisão dos edifícios do bloco de geração A e os subgrupos, divididos em A1, A2, A3 e A4. Os blocos de geração B, C e D possuem o mesmo quantitativo de placas do bloco A de geração. O bloco E e seus subgrupos são semelhantes aos blocos de geração F, G e H que possuem o mesmo quantitativo previsto de placas. A capacidade máxima de geração por blocos de edifícios está descrita na Tabela 4. No armazenamento distribuído, será considerado uma energia armazenada no banco de baterias de 40kWh para autonomia de 10kW para 4h por edifício.

O arranjo apresentado permite simular uma *Virtual Power Plant* onde cada edifício residencial atuaria como agregador de Recursos Energéticos Distribuídos oriundos de Geração Distribuída e Armazenamento Distribuído. O monitoramento das grandezas elétricas como tensão, corrente e fluxos de potência ocorreriam com medidores inteligentes de energia com tecnologia *Smart Grid*. O operador da VPP faria o acompanhamento de todos os dados dos medidores e o despacho da energia armazenada de acordo com a demanda de carga da rede elétrica de distribuição de energia. Os registros da potência injetada na rede seriam analisados pela controladora da VPP e entidades responsáveis pela distribuição de energia para efetuar a remuneração financeira pelo serviço prestado.

Com este arranjo, será feita uma simulação computacional com o programa *Open Distribution System Simulator*, ou *OpenDSS* [24]. O software foi desenvolvido pela *Electric Power Research Institute, EPRI*, e é uma ferramenta de simulação de sistemas de distribuição de energia elétrica projetado para suportar a integração de Recursos Energéticos Distribuídos e a modernização da grade do sistema elétrico [25]. Este programa pode ser controlado a partir de uma variedade de linguagens e plataformas de softwares existentes como o Pyhton, C#, R, MATLAB, entre outros [26].

A Figura 3 apresenta o arranjo elétrico simplificado do subgrupo A1 que é composto pelos edifícios A1-1, A1-2, A1-3, A1-4 e A1-5 conforme já apresentado na Figura 2. O controlador de carga foi omitido no esquema e o lado CA do inversor está conectado na barra denominada de A1-1 que por sua vez está conectado na barra A1. O arranjo completo é descrito na Figura 4.

Com a modelagem pode-se simular diversos cenários para a VPP. Pode-se, por exemplo, verificar se uma determinada quantidade de agregadores conectados poderão atender a uma determinada necessidade de demanda de carga da distribuidora, entre outros. O Quadro 1 apresenta alguns cenários de simulação. O código geral está em desenvolvimento e o código das simulações de cenários, desenvolvido em OpenDSS e Python, está disponível em um repositório Github [27].

Quadro 1 – Cenários para simulação em 48h de agregadores de REDs na composição da VPP

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Cenário** | **Agregador conectado** | **Tipo de RED empregado** | **Características da carga** |
| 01 | Nenhum | Nenhum | Carga com perfil residencial com 40kW |
| 02 | A1-1, A1-2, A1-3 | Geração Distribuída | Carga com perfil residencial com 40kW |
| 03 | A1-1, A1-2, A1-3 | Geração Distribuída e Armazenamento Distribuído | Carga com perfil residencial com 40kW |

Fonte: Elaborado pelo autor

# Resultados e discussôes

A Figura 5 apresenta o gráfico das potencias ativas na Linha de Distribuição conectada na Barra de Distribuição para alimentar a carga da distribuidora. Neste cenário nenhum agregador está ativo e toda a alimentação elétrica é proveniente da concessionária de energia. A Figura 6 representa o cenário 02 onde se pode observar uma faixa do gráfico abaixo do eixo zero, indicado por uma seta, que corresponde a um montante de energia fornecida pela geração distribuída dos agregadores para a carga. O cenário 03 com GD e AD está representado na Figura 7. De forma semelhante ao cenário 02, a faixa do gráfico abaixo de zero, representa um montante de energia que não foi fornecido pela concessionária de energia, mas sim pelos agregadores.

Nos cenários 01 e 02, há uma crista ente às 18h e 22h que está atenuada no cenário 03. Este período representa o fornecimento de energia pelo AD, visto que não há mais a luz do sol para GD fotovoltaica. Nas simulações, o OpenDSS considera que as baterias iniciam o ciclo de trabalho já devidamente carregadas e a recarga deste conjunto ocorre na madrugada que é o período de menor demanda de energia.

# Conclusões

As simulações de cenários permitem observar a atuação dos agregadores no fornecimento de energia elétrica para atender a aumentos na demanda de carga na rede de distribuição. A observação das Figuras 05, 06 e 07, permitem concluir que a junção de diversos agregadores possibilita que exista um montante de energia que pode ser controlada, portanto despachável. Os diversos agregadores permitem um aumento da confiabilidade do sistema, mas introduz aumento de complexidade na operação.

O modelo de projeto apresentado permite a modularidade na implementação dos REDs na VPP. Os condôminos de cada edifício podem realizar financiamentos para aquisição dos itens de geração e armazenamento distribuído ou podem alugar o espaço como o telhado e área de armazenamento das baterias para o administrador da VPP. Há várias modalidades de negócio além de fornecimento de energia que podem ser aplicadas na integração de agregadores para composição de uma VPP mas que dependem de requisitos técnicos e regulatórios para sua operação e administração [19].

##### Referências

1. United Nations - Climate Change. (2021). *The Paris Agreement* [Online]. Disponível: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
2. Agência Senado. (2021, Nov 03). *Aprovado projeto que atualiza legislação ao Acordo de Paris; texto vai à Câmara* [Online]. Disponível: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2021/11/03/aprovado-projeto-que-atualiza-legislacao-ao-acordo-de-paris-texto-vai-a-camara>
3. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. (2020, Dez. 16). *Plano Nacional de Energia 2050* [Online]. Disponível: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>
4. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. (2020). Balanço Energético Nacional 2020 [Online]. Disponível: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020\_sp.pdf>
5. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. (2021). Balanço Energético Nacional 2021 [Online]. Disponível: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>
6. International Energy Agency. (2020). Data and Statistics [Online]. Disponível: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>
7. ANEEL - Curso EAD. (2021). Fundamentos do Setor Elétrico [Online] Disponível: <http://www.labtime.ufg.br/modulos/aneel/mod3\_uni2\_sl13.html>.
8. C. Sales, A. Uhlig, “A energia renovável variável”. Valor Econômico. São Paulo, 10 de Outubro de 2017. Disponível em: <http://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/IFES/BV/sales90.pdf>. Acesso em 13 set 2021.
9. A. Toffler. A Terceira Onda. 8ª ed. Rio de Janeiro: Record, 1980.
10. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. (2019) Sistemas de Armazenamento em Baterias: Aplicações e Questões Relevantes para o Planejamento [Online]. Disponível: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nt-sistemas-de-armazenamento-em-baterias-aplicacoes-e-questoes-relevantes-para-o-planejamento>
11. M. T. Lawder et al., "Battery Energy Storage System (BESS) and Battery Management System (BMS) for Grid-Scale Applications," em Proceedings of the IEEE, vol. 102, no. 6, pp. 1014-1030, Jun 2014, doi: 10.1109/JPROC.2014.2317451.
12. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. (2019) Recursos Energéticos Distribuídos [Online]. Disponível: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/GT%20PNE%20-%20RED%20-%20Relat%C3%B3rio%20Final.pdf>
13. S. Paul, M. S. Rabbani, R. K. Kundu e S. M. R. Zaman, "A review of smart technology (Smart Grid) and its features," 2014, 1ª Conferência Internacional sobre Energia Não Convencional (ICONCE 2014), 2014, pp. 200-203, doi: 10.1109/ICONCE.2014.6808719.
14. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. (2018, Jun 11). Usinas Híbridas [Online]. Disponível: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-232/topico-393/Informe%20Usinas%20H%C3%ADbridas.pdf
15. M. E. T. S. Junior, e L. C. G. de Freitas. “Microrredes: Estado da arte, desafios e tendências para geração, distribuição e uso sustentável de energia elétrica”, Brazilian Applied Science Review, vol. 4, n. 6, pp. 3888–3906, 2020, doi:10.34115/basrv4n6-045
16. G. A. de Oliveira, “Microrredes em Mercados de Energia Elétrica”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. [Online]. Disponível: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/185431/PEEL1772-D.pdf
17. H. Saboori, M. Mohammadi and R. Taghe, “Virtual Power Plant (VPP), Definition, Concept, Components and Types”, 2011 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, 2011, pp. 1-4, doi: 10.1109/APPEEC.2011.5749026.
18. K. Dielmann and A. van der Velden, "Virtual power plants (VPP) - a new perspective for energy generation?," Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates Modern Techniques and Technologies, 2003. MTT 2003., 2003, pp. 18-20, doi: 10.1109/SPCMTT.2003.1438108.
19. International Renewable Energy Agency, (2019). Aggregators - Innovation Landscape Brief. ISBN 978-92-9260-114-0. Disponível: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA\_Innovation\_Aggregators\_2019.pdf>
20. N. Hatziargyriou, Microgrids - Architectures and Control, Wiley-IEEE Press, 2014, isbn: 978-1-118-72064-6.
21. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482. (2012, Abr 17). Disponível: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>
22. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 687. (2015 Nov 24). Disponível: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>
23. Lei Nº 14.300, [Online]. Disponível: <https://www.planalto.gov.br/ccivil\_03/\_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm>
24. SourceForge. 2022. OpenDSS. [Software]. Disponível: <https://sourceforge.net/projects/electricdss/>
25. EPRI. (2021). What is OpenDSS? [Online]. Disponível: <https://www.epri.com/pages/sa/opendss>
26. EPRI. (2020). User Manual [Online]. Disponível: <https://sourceforge.net/p/electricdss/code/HEAD/tree/trunk/Distrib/Doc/OpenDSSManual.pdf>
27. I. Canto, (2022). SBESC-VPP-PPGES-UPE (Versão 0.2) [Código fonte]. <https://github.com/italogcc/SBESC-VPP-PPGES-UPE>