

## Análise de Alternativas para Suprimento de Energia com Grupos Geradores e Geração Distribuída durante Desligamento Programado

Angélica Felipe da Silva<sup>1</sup>, Henrique Horn<sup>1</sup>, Seldo Plestch Junior<sup>1</sup>,  
Paulo Ricardo da Silva Pereira<sup>1</sup>, Rodrigo Marques de Figueiredo<sup>1</sup>, Lucio Renê Prade<sup>1</sup>,  
Diogo Slovinski Boff<sup>2</sup>, Taric Magalhães Saldanha<sup>2</sup>, Lucas Melo de Chiara<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, Escola Politécnica - São Leopoldo - Brasil  
(e-mails: angelicafs@edu.unisinos.br, hhhorn@edu.unisinos.br, spletsch@edu.unisinos.br,  
prpereira@unisinos.br, marquesf@unisinos.br, luciorp@unisinos.br).

<sup>2</sup> Grupo CPFL Energia, (e-mails: tmagalhaessaldanha@cpfl.com.br, diogosboff@gmail.com, lucaschiara@cpfl.com.br).

**Abstract:** The decrease in DEC and FEC in eventual network works is something that energy concessionaires have studied a lot these days, with the increase in the rigidity of the electric energy regulatory body (ANEEL) with regard to fines on energy quality, it is very important to optimize these scheduled stoppages in order to reduce the indicators, which are therefore financially linked to the electricity distribution companies. It is possible to dimension and couple groups of generators in networks that would be under-supplied, creating islands of consumers in order to optimize the concessionaire's indicators. With the help of distributed generation and battery banks, it is possible to optimize the supply costs of these islands. For that, a case based on an adapted 123 Node Test Feeder distribution feeder was used. It was incorporated in the network telecommunications switches, fuses switches, distributed generators and auxiliary systems (battery bank and diesel generators). Through the analysis scenarios, considering a generation system with photovoltaic systems and storage systems was possible to determine how differences and possible optimizations in the circuit. In the scenario (GD + photovoltaic) it optimizes the fuel consumption necessary to supply the island, but there is still the cost of operating the generator of the same capacity as in the solution without photovoltaic generation at the connection point with the lowest system loss. In the scenario (GD + photovoltaic + storage) it is possible to use a group of smaller generators, thus optimizing costs both in fuel and in the availability of a less powerful generator.

**Resumo:** A diminuição do DEC e FEC em eventuais obras de rede é algo bastante estudado pelas concessionárias de energia nos dias de hoje, com o aumento da rigidez do órgão regulador de energia elétrica (ANEEL) no que diz respeito às multas sobre qualidade de energia, é muito importante a otimização dessas paradas programadas visando a diminuição dos indicadores, que por consequência estão atrelados financeiramente às empresas distribuidoras de energia elétrica. É possível dimensionar e acoplar grupos de geradores em redes que ficariam desabastecidas, criando ilhas de consumidores de forma a otimizar os indicadores da concessionária. Com o auxílio da geração distribuída e banco de baterias é possível otimizar os custos de abastecimento dessas ilhas. Para tanto foi utilizado um estudo de caso tendo como base um alimentador de distribuição *123 Node Test Feeder* adaptado em que foram inseridas chaves telecomandadas, chaves fusíveis e gerações distribuídas e sistemas auxiliares (banco de bateria e grupo de geradores diesel). Através dos cenários de análise, considerando um sistema de geração com características fotovoltaicas e sistemas de armazenamento, foi possível determinar as diferenças e possíveis otimizações no circuito. No cenário simulado (GD + painel fotovoltaico) otimiza o consumo de combustível necessário para o abastecimento da ilha, porém ainda existe o custo de operação do gerador de mesma capacidade que na solução sem a geração fotovoltaica no ponto de conexão de menor perda do sistema. No cenário (GD + painel fotovoltaico + banco de baterias) é possível a utilização de um grupo de geradores menor, otimizando assim os custos tanto no combustível quanto de disponibilidade de um gerador menos potente.

**Keywords:** Generating set; Battery bank; Distributed generation; SAIDI and SAIFI, Scheduled Outage

**Palavras-chaves:** Grupo de geradores; Banco de baterias; Geração distribuída; DEC e FEC, Interrupção programada

### 1. INTRODUÇÃO

O sistema elétrico de potência (SEP) brasileiro possui basicamente três grandes divisões, sendo elas, geração, transmissão e distribuição. Dentro destas divisões existem

outras subdivisões que cumprem a sua principal função: levar energia elétrica aos consumidores de forma segura, com qualidade e disponibilidade. (Garcia e Duzzi Jr, 2012).

O sistema de distribuição de energia, considerado por muito tempo um sistema relativamente simples quando comparado a

outros sistemas (geração e transmissão), mas com o passar dos anos e o incentivo a inserção de fontes de energia renováveis tem a sua realidade alterada. O termo redes elétricas inteligentes, também denominadas Smart Grid (SG), é utilizado como forma de caracterizar uma série de técnicas, metodologias e procedimentos que procuram responder às novas demandas e desafios dos Sistemas Elétricos de Potência (SEP). (Bernardon et al., 2015). As redes elétricas carregam como já conhecido além de energia elétrica, informações que, mediante uma série de funções que podem monitorar, supervisionar, controlar, proteger e atuar para uma melhor gestão do sistema. (Grimoni e Barreto, 2017).

Como resultado dessas mudanças, recursos antes não utilizados, tais como, a geração distribuída, operação ilhada e sistemas de armazenamento de energia passam a ter grande importância no cenário atual como melhoria de sua infraestrutura, melhoria na qualidade do serviço, redução do tempo de indisponibilidade do fornecimento de energia elétrica, bem como, o aumentando da confiabilidade das cargas pertencentes ao sistema isolados.

A principal contribuição do trabalho está ligada a uma análise que estuda a viabilidade do ilhamento em redes de distribuição utilizando recursos de geração distribuída, bem como, recursos auxiliares (sistemas de armazenamentos e grupo de geradores diesel). Trazendo assim características sobre o ilhamento e a utilização da geração distribuída como alternativa à geração principal.

O objetivo principal do trabalho é avaliar o comportamento do sistema com a presença de diferentes gerações distribuídas acopladas a um sistema de distribuição que tem a possibilidade de operar ilhado através dos cenários de análise, considerando um sistema de geração com características fotovoltaicas e sistemas de armazenamento determinando assim as diferenças e possíveis otimizações no circuito.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 *Sistemas de Distribuição*

De forma geral o sistema de distribuição primário (ou de média tensão) parte das subestações (SE) de distribuição e operam radialmente com possibilidade de transferência de blocos de cargas entre os circuitos. Esses circuitos podem ainda ser chamados de alimentadores (AL). O sistema de distribuição primário é composto por alimentadores primários, subestações de distribuição e transformadores particulares. Além da rede secundária que é composta de transformadores de distribuição e os clientes de baixa tensão. (Kagan et al., 2005).

As manobras no sistema elétrico de distribuição geralmente são realizadas para transferir blocos de cargas entre alimentadores garantindo assim a continuidade no fornecimento de energia elétrica aos seus usuários ou melhorar a qualidade do fornecimento de energia. Ao longo de todos os alimentadores de um sistema de distribuição existem chaves seccionadoras ou até mesmo equipamentos telecomandados que servem como recurso para possibilitar essa transferência de blocos de carga.

No Módulo 3 do PRODIST (Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) as distribuidoras, de comum acordo com as centrais geradoras de energia e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), quando for importante, podem estabelecer a operação ilhada de parte do sistema de distribuição. E essa decisão pela operação ilhada de centrais geradoras deve ser antecedida de estudos que avaliem a qualidade da energia (Módulo 8 do PRODIST) na microrrede em questão. (ANEEL, 2017a).

Toda a informação necessária para proporcionar o ilhamento pode ser obtida através da aplicação das redes elétricas inteligentes e o sucesso do ilhamento depende do conhecimento preexistente de todas as contingências possíveis que podem resultar na operação ilhada. Sejam elas cenários que envolvam manutenções programadas, a perda de subestações de distribuição ou até mesmo a perda de linhas de transmissão de alta tensão. (Salles, 2013).

A operação ilhada pode ocorrer de duas formas: no primeiro caso considerando que ocorreu uma falha no fornecimento de energia no sistema principal da distribuidora (não programada) a geração distribuída pode operar de modo a garantir o maior tempo de fornecimento de energia elétrica a uma parte da rede operando isoladamente e/ou o atendimento de cargas prioritárias. (Oliveira, 2015). Em Mendonça (2014) a operação ilhada também pode ocorrer de forma intencional (programada) em que por alguma necessidade do sistema, seja numa manutenção na rede ou até mesmo a melhoria dos índices de continuidade de fornecimento que refletem significativamente na confiabilidade da rede de distribuição.

Já quando se analisa os critérios de continuidade no fornecimento de energia elétrica sendo medido através do número de interrupções e a sua duração. Os indicadores de continuidade ainda são divididos em individuais e coletivos. Sendo os individuais: DIC (Duração de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão), FIC (Frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão), DMIC (Duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou por ponto de conexão e DICRI (Duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou por ponto de conexão). Os indicadores de continuidade coletivos são o DEC (Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora) e o FEC (Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora). (ANEEL, 2018b).

### 2.2 *Dec Programado e Alternativas para Redução*

As fontes renováveis de energia (gás natural, biocombustível, eólica, fotovoltaica, entre outras) conectadas aos sistemas de distribuição trazem uma mudança no padrão do setor elétrico brasileiro, uma vez que “ocorre a mudança de um sistema centralizado com grandes blocos de energia distante dos centros de consumo, para um modelo descentralizado e mais próximo da carga, o que caracteriza a geração distribuída” (Grimoni e Barreto, 2017).

#### 2.2.1 *Geração Distribuída*

Em Sacilotto (2021) para alguns segmentos do mercado, uma falha no fornecimento da energia elétrica por parte da concessionária de energia pode ocasionar um grande prejuízo financeiro e a utilização de fontes de energia através de combustíveis fósseis vem como uma das diversas soluções. Assim, a aplicação de geradores a diesel continua sendo muito importante, devido à sua alta confiabilidade e garantia do fornecimento de energia. Um Grupo Motor Gerador é composto por um motor de combustão acoplado a um gerador de corrente alternada (CA), conhecido também como alternador, montados sobre uma base metálica. Esses motores podem ser alimentados a óleo diesel, gás natural, biogás, entre outros.

Esta geração distribuída (GD) é conectada diretamente às redes de distribuição e tem como característica não despachar energia de forma centralizada, nem como fonte primária de geração. Servindo como alternativa local sendo conectada usualmente em baixa tensão e possuindo potência de até 50 MW. Pelo fato da sua conexão ser em baixa tensão, a GD permite a inserção de outros elementos de geração na rede, assim pode haver a criação de uma microrrede. Para implantação de redes ativas é de extrema importância o estudo relativos a controle ativo da área, proteção e controle adaptativos, dispositivos para gestão da rede, simulação da rede em tempo real, implementação de sensores e medições avançadas, comunicação dos equipamentos integrantes do sistema, extração de dados de maneira inteligente e estudo na inovação dos sistemas de distribuição e transmissão. (Chowdhury et al., 2009).

### 2.2.2 Alternativas para o suprimento de energia de trechos desenergizados

Tradicionalmente motores a diesel são utilizados para suprir cargas isoladas pelas concessionárias de energia em casos de obras, manutenção ou emergência. Em Pereira et al. (2020) foi desenvolvido um trabalho com o objetivo de apresentar um estudo cujo propósito é otimizar o processo de tomada de decisões para execução de obras em redes de distribuição que envolve o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) aplicado como ferramenta de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios.

O método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um método comparativo, que resume-se na decomposição de um problema complexo em diversos fatores menores. E esses fatores são arranjados de acordo com sua hierarquia possibilitando assim explorar e analisar separadamente, e por consequência mais profundamente cada fator do problema principal. Assim como possibilita relativizar a importância dos fatores entre si para o resultado do problema fundamental. (Pereira et al. 2020).

Ainda em Pereira et al. (2020) são apresentadas alternativas para o suprimento da energia em trechos que serão realizadas obras de melhorias. Dentre essas alternativas temos: telecomando, manobras de chave fusível, manobra de seccionadora, instalação de chave fusível, instalação de chave

seccionadora, construção de rede complementar, utilização de *Big Jumper* e uso de gerador auxiliar.

O *Big Jumper* consiste na utilização de cabos devidamente dimensionados e isolados para executar uma extensão de rede e assim criar um caminho alternativo para suprir o setor desenergizado garantindo o abastecimento para clientes que não puderam ser remanejados. (Canal Energia, 2020).

### 2.2.3 Sistemas de Armazenamento

Nesse contexto, a incorporação de sistemas de armazenamento como medida de restabelecimento e recuperação do sistema se tornam importantes. Em Grimoni e Barreto (2017) a gestão de armazenamentos de energia para uso futuro de forma eficiente e com custos competitivos sempre foi um objetivo a ser alcançado e existem diversas formas de armazenamento de energia disponíveis, dentre elas, as principais são: armazenamento de energia mecânica, armazenamento eletroquímico, armazenamento direto de energia elétrica, armazenamento de energia térmica, armazenamento químico, entre outros.

Em Capuchim (2017) é realizada uma análise dos impactos da inserção de sistemas de armazenamento compartilhados nas redes de distribuição. Observa-se que pequenos armazenamentos de energia, distribuídos e conectados ao secundário de um transformador de distribuição oferecem benefícios significativos obtendo-se melhora nos três critérios avaliados (níveis de tensão, perdas técnicas e eficiência da rede de distribuição).

A utilização do banco de baterias, além de ajudar a suprir a demanda energética visa otimizar algumas características da geração variável da energia fotovoltaica, tais como, a neutralização de picos. A neutralização de picos se torna necessária para prevenir gargalos de abastecimento e aliviar a rede quando a demanda é muito alta. Isso pode ser realizado através da ativação de geradores ou dispositivos de armazenamento - como baterias industriais - ou através da adaptação das suas necessidades ao suprimento de energia. Agrekko (2022).

Em Salehin et al. (2014) foi desenvolvido um modelo de otimização para um esquema considerando um armazenamento compartilhado (FV-biogás-diesel-baterias) observando aspectos sobre o custo de cada tecnologia para o fornecimento de energia elétrica para ilha de Adorsho Char (Bangladesh). Com a utilização de modelo de otimização híbrida para energias renováveis (HOMER) os autores obtiveram como resultado uma participação do gerador de biogás, cerca de 82%, na geração de eletricidade seguida de energia solar e gerador diesel.

## 3. METODOLOGIA

Considerando trabalho previamente desenvolvido em Junior e Pereira (2020) e a fim de avaliar o impacto da inserção da Geração Distribuída no sistema de distribuição de energia elétrica foram analisados, considerando o regime permanente, três cenários:

- a) Rede de distribuição com geração fornecida através de um grupo de geradores (Diesel);
- b) Rede de distribuição com Geração Distribuída fornecida através de um grupo de geradores (Diesel) e usina fotovoltaica;
- c) Rede de distribuição com Geração Distribuída fornecida através de um grupo de geradores (Diesel), usina fotovoltaica e banco de baterias.

Para a aplicação da metodologia foi escolhido o alimentador *123 Node Test Feeder* e realizado algumas adaptações. Segundo IEEE (2014), o alimentador é caracterizado por trechos de redes subterrâneas e aéreas, presença de reguladores de tensão, banco de capacitores em derivação (*shunt*), cargas desequilibradas e chaves para manobra.

A aplicação da metodologia requer também a utilização de uma ferramenta de análise do fluxo de potência do sistema de distribuição. Portanto optou-se pela utilização do software *OpenDSS (Open Distribution System Simulator)* que é uma ferramenta de simulação do sistema elétrico de potência largamente utilizada para fluxo de potência, curto-circuito, estudo de harmônicas, entre outras funções. A Fig. 1 apresenta a visão geral da metodologia adotada.

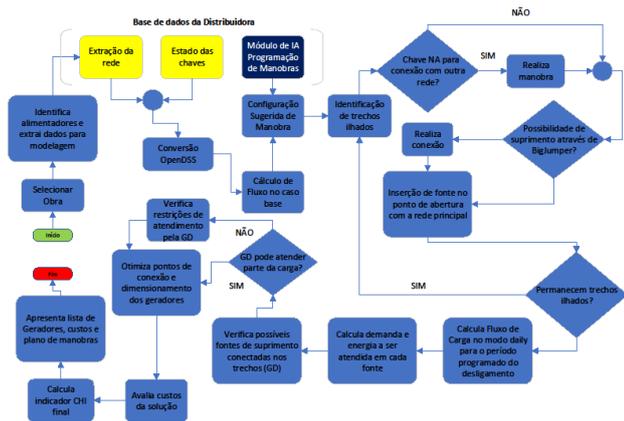


Fig. 1 Visão Geral da Metodologia.

Importante ressaltar que após o trabalho de modelagem, as simulações foram realizadas utilizando Python e VBA, ferramentas conectadas ao simulador por meio da interface COM. Por meio da linguagem Python é estabelecido os cenários de ilhamento. Caso haja a perda da alimentação principal, o algoritmo verifica as condições das chaves telecomandadas e identifica os geradores presentes no sistema. No algoritmo são comparados a carga do sistema e a capacidade de geração, caso a geração não seja capaz de suprir a carga, as chaves são abertas, de maneira sequencial e hierárquica, até o nível de carga estar dentro das possibilidades de atendimento do gerador. Através do VBA e do Microsoft Excel, foi possível levantar todos os níveis de tensão no circuito ao longo do dia. (Junior e Pereira, 2020).

Com a aplicação da metodologia busca-se a otimização do grupo de geradores auxiliares, utilizados para atendimento de trechos prioritários da rede durante a interrupção programada,

com isso é realizada a inserção da geração no ponto de conexão de menor perda. Os geradores auxiliares consideram, além da fonte Diesel, a adição de outros recursos, como fotovoltaica e banco de baterias nas simulações, conforme Salehin et. al (2014) e Agrekkko (2022).

As gerações que por norma devem conter proteção anti-ilhamento são aproveitadas para abastecer cargas locais, diminuindo assim o consumo do grupo de geradores. Com isso as cargas mais próximas das gerações espalhadas pela rede seriam supridas pelas gerações distribuídas já homologadas pela concessionária. O estudo pretende usar essas gerações que estariam desacopladas da rede, assim, inserindo gerações pontuais em determinados grupos de consumidores para analisar o comportamento da rede e do grupo de geradores.

#### 4. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso é realizado com base no alimentador *123 Node Test Feeder* adaptado em que foram inseridas chaves telecomandadas, chaves fusíveis e geração distribuída conforme Fig. 2.

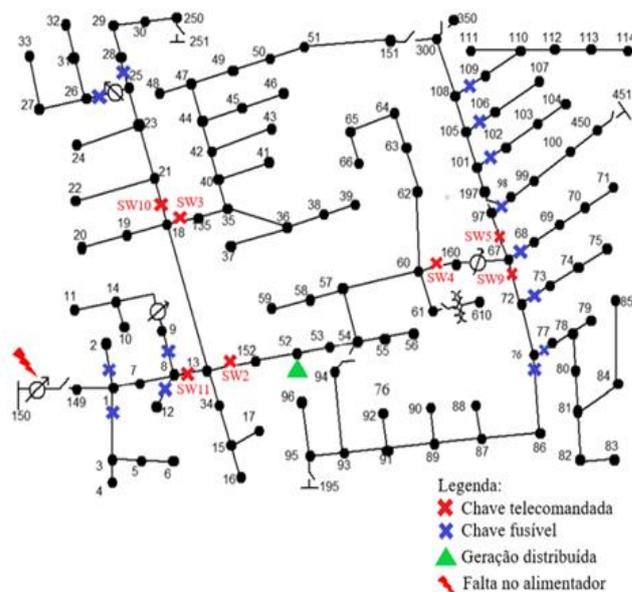


Fig. 2 Rede de distribuição adaptada para as simulações.

##### 4.1 Características da Rede de Distribuição

Por meio do *OpenDSS* e com o intuito de ter uma configuração de sistema mais próxima da realidade do sistema elétrico de distribuição brasileiro, a rede teve sua tensão nominal modificada de 4,16 kV para 13,8 kV e teve o comprimento original das linhas multiplicado em dez vezes, assim o circuito passa a apresentar perdas significativas e há queda de tensão ao longo do sistema. (Junior e Pereira, 2020).

As cargas presentes no sistema seguem os modelos de potência constante, impedância constante e corrente constante e são conectadas em média tensão, pois foi assumido que todas elas são pontos de entrega a transformadores rebaixadores. As cargas foram conectadas à rede de distribuição em Delta ( $\Delta$ ) ou Estrela (Y), com tensões de alimentação de 13,8 kV ou 7,967 kV, e a cada uma delas foi atribuída uma curva de

consumo seguindo os padrões residencial, comercial ou industrial. (Junior e Pereira, 2020).

Considerando ainda que existam gerações fotovoltaicas nas unidades consumidoras ao longo da rede, essas gerações podem contribuir para o abastecimento da carga demandada pela rede. Estima-se que até 2030 essa porcentagem seja de aproximadamente 15% da demanda de carga de consumo (ABSOLAR, 2018).

#### 4.2 Características da Geração Auxiliar

A partir da análise da rede e do fluxo de potência, é necessário o suprimento de 187 kVA no horário de maior demanda (20h), portanto é necessário a conexão de um grupo de geradores de 190 kVA para suprimento da rede ilhada. Para análise do fluxo de potência foram consideradas cargas dos tipos residenciais, comerciais e industriais, cada uma com sua curva de consumo em 24h. A usina de minigeração adotada para realização das simulações possui as características vistas na Tabela 1. O fator de potência do gerador foi definido como 0,8 capacitivo, pois as cargas presentes na rede de distribuição demandam potência reativa. Assim, pelo fato da conexão ser feita em média tensão, se faz necessária a utilização de um transformador elevador, onde a tensão de 380 V é elevada para 13,8 kV.

**Tabela 1. Características de rede e das gerações distribuídas adotadas**

Grandeza	Gerador Diesel	Painel Foto-voltáico	Banco de Baterias	Rede
Potência ativa	165 kW	77,2 kW	30 kW	186 kW
Potência reativa	91 kVAr	63,4 kVAr	-	90 kVAr
Potência aparente	187 kVA	98,6 kVA	30 kVA	207 kVA
Fator de potência	0,8	0,8	1	0,8
Conexão	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$
Tensão	380 V	380 V	380 V	380 V

#### 4.3 Aspectos sobre o ilhamento e conexões das GD's

Utilizando a função *daily* do *OpenDSS* é possível simular a variação de consumo das cargas ao longo do tempo, podendo se configurar um determinado dia e horário para se fazer a análise, portanto assim, simular o comportamento da carga em um cenário de manutenção programada.

Logo após o cálculo do fluxo de potência são conhecidas as condições iniciais de atendimento da rede, podendo ser incluídas as condições de manobras propostas, supondo a de uma manutenção na rede e a identificação dos trechos desenergizados. A Fig. 3 apresenta os trechos energizados e desenergizados do alimentador, além da região prioritária de atendimento.

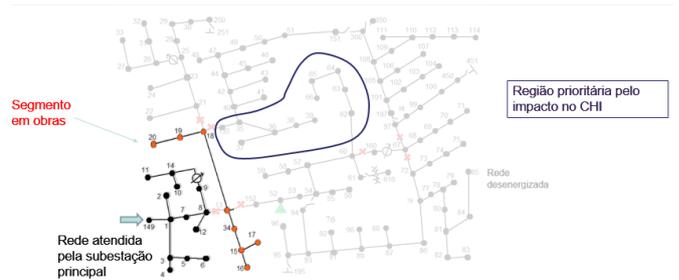


Fig. 3 Rede de distribuição com a identificação de trechos energizados e desenergizados.

Com base na rede desenergizada é realizada uma avaliação de setores da rede em que pode ser realizada a transferência de carga através da abertura de chaves de manobra buscando reduzir o número de clientes sem energia mantendo os critérios de conformidade e qualidade dos níveis de tensão. A Fig. 4 apresenta os trechos que foram manobrados com a abertura e fechamento de chaves seccionadoras.

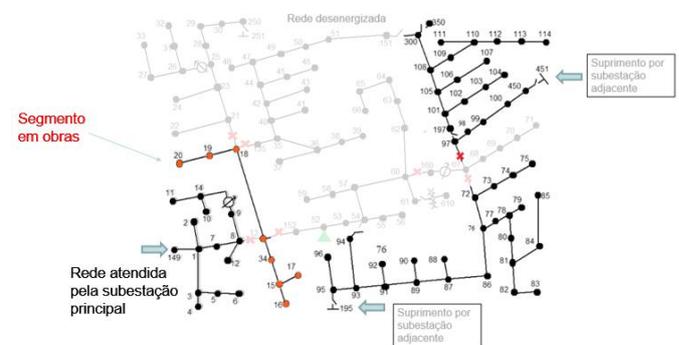


Fig. 4 Setores em que foram realizados a transferência de carga para subestações adjacentes.

Identificando-se os trechos que após transferência de carga ainda permanecem desenergizados e considerando a utilização de uma geração distribuída como fonte um grupo motor gerador e a utilização de um *Big Jumper* espera-se atender a região prioritária. A Fig. 5 apresenta a zona prioritária de atendimento agora energizada através da inserção da geração distribuída e do *Big jumper*.

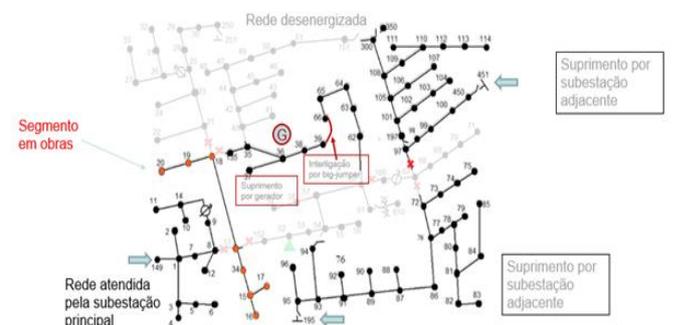


Fig. 5 Local de inserção da geração distribuída e do *Big Jumper*.

Importante ressaltar que os outros elementos de geração distribuída (painel fotovoltaico e banco de baterias) são conectados no mesmo local que a geração através do grupo de motores geradores a diesel.

## 5. RESULTADOS

No primeiro momento, como esse estudo é a continuação do trabalho desenvolvido em Junior e Pereira (2020) e nesse trabalho já foi realizada a análise das tensões em regime permanente da rede sem a presença de geração distribuída e levando em consideração os níveis de tensão adequada, precária e crítica estabelecidos no PRODIST. O presente estudo delimitou-se a simulação da rede no ponto previamente estabelecido como prioritário com a inserção da geração através do grupo de motores geradores diesel, painel fotovoltaico e banco de baterias através da análise das curvas de geração dos equipamentos.

### 5.1 Rede de Distribuição com geração fornecida através de um gerador (Diesel)

A partir da análise da rede e do fluxo de potência, é necessário o suprimento de 187 kVA no horário de maior demanda (20h), portanto é necessário a conexão de um grupo de geradores de 190 kVA para suprimento da rede ilhada. Nessa análise foram consideradas cargas com características residenciais, comerciais e industriais com sua curva de consumo em 24h. A Fig.6 apresenta a curva de geração do grupo de gerador diesel.

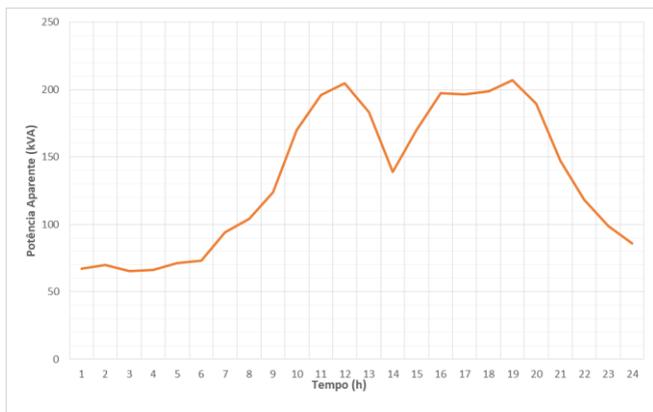


Fig. 6 Curva de geração do grupo de geradores diesel.

### 5.2 Rede de Distribuição com Geração Distribuída (Diesel) e Painel Fotovoltaico

Adicionando uma geração fotovoltaica de 100 kW no mesmo ponto de conexão do gerador diesel com base na curva de geração onde o período de geração está situado entre às 6 e 18 horas. A curva de geração do painel fotovoltaico utilizado nas simulações, vistas na Fig. 7, são baseadas no levantamento de geração real de um sistema de geração fotovoltaico, considerando um dia ensolarado. Com a adição da geração fotovoltaica é realizada a simulação e análise da potência aparente de ambos os equipamentos considerando o ilhamento detalhada também na Fig. 7.

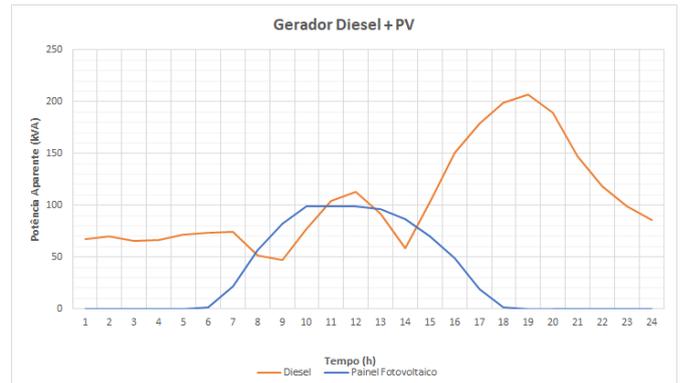


Fig. 7 Curva da geração fotovoltaica adotada e do gerador diesel no segundo cenário de simulação.

Observa-se uma pequena diminuição na necessidade de geração do grupo de geradores diesel nos períodos em que existe irradiação solar. Porém, ainda existe a necessidade de utilização de um grupo de geradores de 190 kVA, visto que o pico de demanda ocorre por volta das 20h.

### 5.3 Rede de Distribuição com Geração Distribuída (Diesel), Painel Fotovoltaico e Banco de Baterias

A adição do sistema de armazenamento considerando um banco de baterias e com a curva de geração utilizadas na simulação conforme Fig. 8.



Fig. 8 Curva de geração do sistema de armazenamento adotada.

Com a adição da geração fotovoltaica e do banco de baterias é realizada a simulação e das curvas de potência aparente dos equipamentos envolvidos na simulação do cenário 3 obtendo-se a curva detalhada na Fig. 9.

Com a inserção de um banco de baterias de 30 kVA é possível diminuir o dimensionamento do grupo de geradores para 190 kVA. A Tabela 2 apresenta a comparação dos valores de geração auxiliares obtidos no cenário 2 e cenário 3. Nesse cenário a rede ilhada abastece os consumidores que possuem geração distribuída em seus telhados podendo contribuir para a otimização do sistema. Ainda, baterias de veículos elétricos e até mesmo banco de baterias situados em locais estratégicos podem otimizar ainda mais os custos de abastecimento das redes ilhadas.

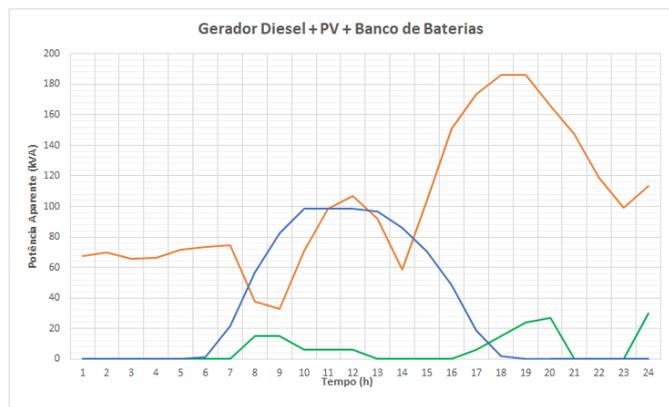


Fig. 9 Curva da geração fotovoltaica adotada, do gerador diesel e do banco de baterias no terceiro cenário de simulação.

**Tabela 2. Comparação entre gerações auxiliares**

Potência do Gerador Diesel sem PV e Storage	210 kVA
Potência do Gerador Diesel com PV e Storage	190 kVA

## 6. CONCLUSÕES

O objetivo principal do trabalho foi avaliar o comportamento do sistema com a presença de diferentes Gerações Distribuídas acopladas a um sistema de distribuição que tem a possibilidade de operar ilhado. O estudo realizado é a primeira etapa de avaliação da viabilidade do ilhamento, pois se fazem necessárias análises mais profundas acerca de outros fatores, tais como, estabilidade e de contingência para determinar a efetividade das condições operativas. O presente trabalho traz assim, considerando um caráter inicial, uma contribuição sobre o ilhamento e a utilização da Geração Distribuída como alternativa à geração principal.

Através dos cenários de análise, considerando um sistema de geração com características fotovoltaicas e sistemas de armazenamento, foi possível determinar as diferenças e possíveis otimizações no circuito. O segundo cenário simulado (GD + painel fotovoltaico) otimiza o consumo de combustível necessário para o abastecimento da ilha, porém ainda existe o custo de operação do gerador de mesma capacidade que na solução sem a geração fotovoltaica no ponto de conexão de menor perda do sistema. O terceiro cenário (GD + painel fotovoltaico + banco de baterias) e considerando o banco de baterias programado para atuar no período de maior demanda da rede é possível a utilização de um grupo de geradores menor, otimizando assim os custos tanto no combustível quanto de disponibilidade de um gerador menos potente.

O principal resultado do trabalho foi obtido considerando a utilização de geração distribuída acoplada a rede elétrica ilhada para otimização dos indicadores de continuidade das concessionárias. E também a possibilidade de fazer uma otimização dos custos operacionais da solução utilizando juntamente com o grupo de geradores, geração distribuída

fotovoltaica e baterias conectadas à rede. Dessa forma é possível não só otimizar a utilização de combustível, mas também retirar a necessidade de um grupo de geradores muito potente para atender a demanda de pico da rede ilhada.

Associada a solução de utilização de geração distribuída fotovoltaica e sistema de armazenamento podemos citar a redução do impacto ambiental comparando com a solução tradicional que prevê somente o uso do gerador a diesel como suprimento alternativo. Inclusive se considerarmos a programação do período do desligamento para horários de maior presença, ou seja, um horário de maior aproveitamento da geração fotovoltaica pode-se reduzir mais ainda a potência desse gerador a diesel. Ainda, utilizando gerações distribuídas já existentes na rede, é possível otimizar ainda mais a energia necessária para abastecer a ilha de consumidores.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Grupo CPFL e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem o apoio técnico e financeiro da CPFL Energia pelo projeto “Metodologia de Planejamento de Projetos de Redes de Distribuição Otimizando o DEC Programado com a Aplicação de Inteligência Artificial” (PD - 00396 - 3057/2019, desenvolvido no âmbito do programa de P&D/ANEEL), ANEEL e a CAPES.

## REFERÊNCIAS

- ABSOLAR (2018). Brasil amplia investimento em energia solar. Disponível em: <<<https://www.absolar.org.br/noticia/brasil-amplia-investimentos-em-energia-solar/>>> Acesso em: 05/02/2022.
- AGGREKO, Sistemas de energia híbrida - solar, eólica e mais, Disponível em: <<<https://www.aggreko.com/pt-br/products/hybrid-power-plants>>> Acesso em 05/02/2022.
- ANEEL (2017a). Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição. Brasília, DF.
- ANEEL (2018b). PRODIST: Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica.
- CANAL ENERGIA. (2020). RGE usa nova tecnologia para evitar desarmes durante execução de obras, Disponível em <<<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53149580/rge-usa-nova-tecnologia-para-evitar-desarmes-durante-execucao-de-obras>>> Acesso em 05/02/2022.
- Capuchim, J.E. e Pereira, P.R.S. (2017). *Análise dos impactos da inserção de sistemas de armazenamento compartilhado em redes de distribuição*. XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, Ijuí.
- Chowdhury, S., Chowdhury, S., and Crossley, P. (2009). *Microgrids and active distribution networks*. The Institution of Engineering and Technology, Londres, 1 edition.
- Garcia, D. e Duzzi Jr., F. E. (2012). Tópicos de Sistemas de Transmissão e de Distribuição de Energia Elétrica. *Revista O Setor Elétrico*. São Paulo, v. 74, n. 74, p. 52-63.

Grimoni, J. A. B. e Barreto, G. A. (2017). Geração Distribuída e Redes Elétricas Inteligentes. In: Moreira, José Roberto Simões. *Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética*. Rio de Janeiro: Grupo GEN. p. 146 - 159.

IEEE (2014). IEEE 123 Node Test Feeder Letterhead. USA - Department of Energy (2009). A vision for the Smart Grid.

Junior, S. P. e Pereira, P.R.S. (2020). *Análise do ilhamento de Geração Distribuída por meio da reconfiguração automática de redes de distribuição para melhoria dos indicadores de continuidade*. XXIII Congresso Brasileiro de Automática, Congresso Virtual.

Kagan, N., Oliveira, C. C. B. e Robba, E. J. (2005). *Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica*. São Paulo, Editora Blucher.

Mendonça, L. P. (2014). *Proposta de Sistema de Automação para Ilhamento Intencional de Redes de Distribuição com Geração Destruída*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Oliveira, D. Q. (2015) *Sistema de Gerenciamento de Energia para Operação Resiliente de Microrredes em Modo Ilhado*. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Itajubá, Universidade Federal de Itajuba, Itajuba.

Pereira, P. R., de Figueiredo, R. M., Mallmann, A. P., Prade, L. R., Boff, D. S., de Chiara, L. M., & da Silva, M. R. (2020). *Análise da Criticidade de Obras em Redes de Distribuição de Energia Elétrica Baseadas no Método Analytic Hierarchy Process*. In Congresso Brasileiro de Automática-CBA (Vol. 2, No. 1).

Sacilotto, F. W. (2021). O impacto da potência reativa no dimensionamento e operação de grupos geradores a diesel. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo.

Salehin, S. Islam, A.K.M.S. Hoque, R. Rahman, M. Hoque A. and Manna, E. (2014). *Optimized model of a solar PV-biogas-diesel hybrid energy system for Adorsho Char Island, Bangladesh*. 3rd International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET), pp. 1-6, doi: 10.1109/ICDRET.2014.6861692.

Salles, N. J. (2013). *Modelagem multiambiente de sistemas de proteção para ilhamento intencional de geradores síncronos distribuídos*. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.