

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA EM SISTEMAS ISOLADOS (TE SISOL)

Sugestão de Requisitos Elétricos e de Confiabilidade –
Produto 11



Como empresa federal de utilidade pública, a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH apoia o Governo Federal da Alemanha em seus objetivos na área de cooperação internacional.

Publicado por: Projeto Sistemas de Energia do Futuro

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Sede social Bonn e Eschborn, Alemanha SCN Quadra 1 Bloco C Sala 1501, 15 andar, Ed. Brasília Trade Center. CEP 70711-902, Brasília-DF, Brasil Telefone: (61) 2101-2170 www.giz.de/brasil	Ministério de Minas e Energia (MME) Esplanada dos Ministérios, Bloco U Brasília/DF CEP: 70065-900 Telefone: (61) 2032-5555 www.gov.br/mme
--	--

Coordenação

Roberto Castro (GIZ)

Leticia Maciel (GIZ)

Gustavo Pires da Ponte (EPE)

Autores

Daniel Odílio dos Santos – IESS/IDEAL/FV UFSC

Markus Vlasits – NewCharge Energy

Kevin Hattori – NewCharge Energy

Revisão

Osvaldo Soliano Pereira – Consultor/CBEM e UFBA

Lucas do Nascimento – IESS/IDEAL/FV UFSC

Ricardo Rüther, Ph.D. – IESS/IDEAL/FV UFSC

Comitê Técnico – Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

Gustavo Pires da Ponte

Guilherme Mazolli Fialho

Aline Couto de Amorim

Michele Almeida de Souza

Paula Monteiro Pereira

Fotografia

Antônio Pereira/Semcom Manaus

O projeto Sistemas de Energia do Futuro integra a Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável e é implementado pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH e pelo Ministério de Minas e Energia com recursos do Ministério Federal da Cooperação Econômica e Desenvolvimento (BMZ) da Alemanha.

Brasília, junho de 2024.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. ITENS APRESENTADOS.....	5
1.1.1 MODELO OPERATIVO	5
1.1.2 ESPECIFICAÇÃO DE ARQUITETURA E TOPOLOGIA ELÉTRICA DAS USINAS	6
2. MODELOS OPERATIVOS ENTRE OS DIFERENTES PIES E A DISTRIBUIDORA DE ENERGIA ELÉTRICA DA COMUNIDADE ISOLADA	7
2.1. REQUISITOS MÍNIMOS PARA A ATRIBUIÇÃO DAS RESPONSABILIDADES DE CADA ENTIDADE NO ACORDO OPERATIVO	9
2.1.1 DISPONIBILIDADE DE REDE.....	10
2.1.2 ASPECTOS AMBIENTAIS.....	10
2.1.3 TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA	11
2.1.4 MODO DE COMUNICAÇÃO	11
2.1.5 CAPACIDADE DE OPERAÇÃO EM CONTINGÊNCIA E SEGURANÇA DA REDE	12
2.2. REQUISITOS MÍNIMO DO ACORDO OPERATIVO	12
3. ESPECIFICAÇÃO DE ARQUITETURA E TOPOLOGIA ELÉTRICA DAS USINAS.....	14
3.1. ACOPLAMENTO CC	14
3.2. ACOPLAMENTO CA	16
4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	18
REFERÊNCIAS.....	20

1. INTRODUÇÃO

As redes isoladas caracterizam-se pela ausência de conexão com o Sistema Interligado Nacional (SIN). Assim, essas redes dependem de geradores de energia elétrica para definir os parâmetros elétricos do sistema.

Para o correto funcionamento das redes isoladas, é necessária uma coordenação operacional que garanta a segurança energética da comunidade, além de uma análise minuciosa dos componentes envolvidos. Pequenas falhas operacionais nesses sistemas podem gerar pontos de vulnerabilidade, resultando na indisponibilidade parcial ou total do sistema.

Com a possível integração de diferentes Produtores Independentes de Energia (PIEs) no mesmo sistema, as redes isoladas dispõem de variadas possibilidades operacionais.

Ademais, a viabilidade de formas de geração de energia nessas regiões é limitada pelas condições de espaço e pela viabilidade de implantação, considerando que são áreas isoladas com geografias que restringem a utilização de diversas opções disponíveis no mercado. A fonte mais viável e promissora tem sido a energia fotovoltaica.

Visto isso, são necessárias análises que devem considerar os aspectos técnicos construtivos, e por seguinte os aspectos referentes à logística das localidades e às dificuldades relacionadas à variabilidade e sazonalidade do recurso.

1.1. ITENS APRESENTADOS

Esse produto visa apresentar propostas de: (i) modelo de operação das usinas, com as variáveis fundamentais a serem analisadas em cada processo de criação destes modelos, e as principais responsabilidades a serem atribuídas para cada parte envolvida; e (ii) arquitetura e topologia elétrica das usinas, com especificações elétricas e outros requisitos.

1.1.1 MODELO OPERATIVO

Neste produto, serão avaliados os requisitos fundamentais para propor uma metodologia de elaboração de um acordo operativo para sistemas que incluem energia renovável, considerando os diferentes empreendedores e composições das fontes

energéticas envolvidas na geração de energia elétrica em cada comunidade. Esta atividade tem como objetivo identificar os requisitos necessários para assegurar a operação das novas usinas com recursos provenientes de fontes renováveis intermitentes, visando a confiabilidade do suprimento de energia. O hibridismo é destacado como uma alternativa para a redução de emissões de gases de efeito estufa e dos custos de geração de energia elétrica.

1.1.2 ESPECIFICAÇÃO DE ARQUITETURA E TOPOLOGIA ELÉTRICA DAS USINAS

Este produto contempla sugestões de requisitos elétricos e de confiabilidade para equipamentos destinados à manutenção da confiabilidade operacional. Além disso, apresenta as características eletroenergéticas dos equipamentos a serem selecionados, bem como as tipologias que os equipamentos de controle devem seguir. Adicionalmente, são detalhadas as características construtivas das usinas de geração fotovoltaica (FV), visando reduzir a vulnerabilidade do sistema a falhas nas redes isoladas.

Também são analisados os modos de operação dos sistemas de armazenamento, com o objetivo de maximizar o aproveitamento do recurso energético renovável disponível para a localidade. Tais análises consideram as especificidades das características das localidades selecionadas, buscando a melhor operação do sistema.

2. MODELOS OPERATIVOS ENTRE OS DIFERENTES PIES E A DISTRIBUIDORA DE ENERGIA ELÉTRICA DA COMUNIDADE ISOLADA

Os sistemas isolados em sua maioria são sistemas de pequeno porte em localidades longínquas ou com dificuldades de acesso. Assim, são frequentemente realizados estudos que analisam aspectos financeiros e ambientais da integração dessas localidades ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

Os sistemas isolados seguem normativas conforme delineado no PRODIST 8, seção 4.1. As atribuições da distribuidora incluem a gestão eficiente dos dados de carga e despacho de geração, englobando a coleta, processamento e validação desses dados previstos e verificados pelos usuários. A distribuidora deve estabelecer prazos e rotinas de atualização das informações para garantir sua regularidade e precisão. Além disso, é responsável pela padronização dos arquivos eletrônicos e pela definição dos meios de comunicação adequados para a transferência dos dados de carga, facilitando a interação entre as partes envolvidas. A interação com os usuários para esclarecimentos ou obtenção de informações complementares sobre os dados de carga também é uma tarefa da distribuidora.

Nos sistemas isolados, onde há uma integração de diferentes Produtores Independentes de Energia (PIEs) operando no mesmo sistema, os novos produtores complementam o atendimento à carga necessária para a localidade, estabelecendo um acordo de operação com o novo PIE. A distribuidora deve atuar localmente como o Operador Nacional do Sistema (ONS). Eventualmente, pode ser necessário rever o acordo operativo com o PIE anterior, sem que isso resulte em quebra de contrato, mantendo o equilíbrio econômico-financeiro. Em Anamã-AM, Anori-AM e Codajás-AM, por exemplo, existem dois PIEs operando em conjunto: Eletronorte e Aggreko.

Entretanto, o aumento de carga efetivo constatado pela Amazonas Energia (Distribuidora local de energia elétrica) nessas comunidades implicou em um possível não atendimento do suprimento de energia. Para este caso, foi necessária a realização de um leilão de suprimento de energia em 2021, no qual a Empresa Xavante foi a vencedora. Como novo gerador de carga, a Empresa Xavante deve complementar a geração da Eletronorte, com o acordo operativo a ser desenvolvido pela Amazonas Energia.

Nessas localidades, a inserção do novo PIE é abordada de forma simplificada, já que para os sistemas mencionados o novo ente de geração só irá complementar a geração, sendo de responsabilidade da Eletronorte a formação da rede e a garantia dos patamares mínimos de segurança elétrica no sistema.

Todavia, é fundamental compreender a diferença entre os leilões de potência e energia, pois, em alguns casos, ambos são realizados, mas apenas a potência é adquirida. O Acordo Operativo (AO) deve prever essas diferenças. Aqui, surge a questão de incluir ou não fontes variáveis e armazenamento. Se fontes variáveis forem aceitas, elas devem estar integradas na base. O AO com essas fontes deve garantir, antecipadamente, o equilíbrio econômico-financeiro do PIE original.

Para um acordo operativo que avalia a hibridização das redes isoladas, deve-se priorizar o uso de energia renovável, considerando as dificuldades específicas de recursos de cada localidade. É necessário apresentar os procedimentos de segurança para o ente formador da rede isolada e os demais PIEs envolvidos. Além disso, deve-se avaliar as integrações e controles das máquinas geradoras de energia elétrica.

Portanto, sob a ótica da operação, deve ser criado um modelo operativo que atenda aos requisitos da contratação e aos parâmetros necessários para o correto funcionamento da rede em todas as condições de geração, visando sempre a totalidade e a qualidade do fornecimento de energia.

No Manual de Operação dos Sistemas Isolados de Boa Vista e localidades conectadas (**ANEXO 1**), que é um sistema isolado de grande porte operado pelo ONS, a seção 16 trata do controle da geração nesse sistema. O controle de geração é uma atividade em tempo real cujo principal objetivo é o despacho otimizado de geração a ser disponibilizada para os agentes de distribuição. Nesse processo, observam-se o Programa Diário de Produção (PDP) e os procedimentos estabelecidos nos documentos normativos.

O ONS é responsável por coordenar, supervisionar e controlar a execução do PDO (Programa Diário de Operação) referente à Rede de Operação do Sistema Roraima, registrando as alterações e dificuldades encontradas. Também deve coordenar as reduções e elevações de geração nas usinas da Rede de Operação do Sistema Roraima, informando aos agentes de operação os motivos dessas reduções ou elevações. Além disso, o ONS controla as manobras nas instalações da Rede de Operação do Sistema Roraima para viabilizar as reprogramações de geração ou vice-versa. As ações para manutenção da frequência nominal

(60 Hz) e para o controle de intercâmbio na interligação internacional também são de sua responsabilidade. Por fim, o ONS realiza a comprovação de disponibilidade solicitada em tempo real das unidades geradoras das usinas da Rede de Operação do Sistema Roraima, quando necessário apurar as taxas de indisponibilidade após ocorrência de desligamento programado ou forçado.

Os agentes de geração têm a responsabilidade de executar as ações previamente determinadas no PDO, além de supervisionar, comandar e executar as partidas, o sincronismo e as paradas das unidades geradoras. Devem também realizar as elevações e reduções de geração nas usinas da Rede de Operação do Sistema Roraima, para cumprimento do PDO e para contingências nesta rede, conforme determinações do Centro de Operação do ONS. Os agentes de geração precisam informar ao Centro de Operação do ONS sobre as indisponibilidades das unidades geradoras, os horários de início e término das intervenções e as limitações que impliquem restrições de geração. Também devem comunicar as indisponibilidades ou limitações, já ocorridas ou iminentes, não previstas no PDO, e o valor da disponibilidade de geração nas unidades geradoras. Além disso, devem solicitar em tempo real ao ONS a realização da comprovação de disponibilidade de geração de unidades geradoras, quando necessário apurar as taxas de indisponibilidade após ocorrências de desligamento programado ou forçado.

Os agentes de distribuição são responsáveis por supervisionar, comandar e executar, na sua Rede de Operação do Sistema Roraima, as mudanças de topologia da rede determinadas pelo ONS. Eles também devem informar ao Centro de Operação do ONS as variações de carga que afetem a frequência do sistema e comunicar aos agentes de geração as indisponibilidades ou limitações que possam restringir a geração das usinas conectadas fora da Rede de Operação do Sistema Roraima.

Vale ressaltar que, para comunidades de pequeno porte, a distribuidora de energia deverá desempenhar a função local do ONS.

2.1. REQUISITOS MÍNIMOS PARA A ATRIBUIÇÃO DAS RESPONSABILIDADES DE CADA ENTIDADE NO ACORDO OPERATIVO

Os acordos operativos são elaborados observando as peculiaridades das localidades, avaliando os entes envolvidos e analisando os recursos disponíveis em cada região. Todavia,

para a elaboração do acordo operativo, especialmente quando há inserção de energia renovável e intermitente, é necessária uma avaliação mais detalhada dos recursos de geração para garantir o perfeito funcionamento do sistema.

Os tópicos a seguir apresentam os requisitos que as entidades envolvidas na cadeia de atendimento de energia à comunidade deverão analisar para a elaboração das responsabilidades atribuídas a cada ente no acordo operativo em cada localidade.

2.1.1 DISPONIBILIDADE DE REDE

As entidades devem avaliar quais as principais características da rede isolada analisada, observando limitações de linha de distribuição, problemas de geração, problemas de variabilidade de carga, automatismo entre as máquinas de geração, sistemas de proteção, entre outros aspectos.

Além disso, esse requisito deve avaliar as localizações geográficas ótimas de conexão dos diferentes PIEs no sistema de distribuição da localidade, observando os sistemas de proteção e controle integrado. Destaca-se que em sistemas com diferentes PIEs, a localização do ponto de conexão na distribuição é importante para o correto escoamento de energia principalmente em caso de contingência.

Caso o local determinado para a conexão do PIE não atenda aos requisitos de licenciamento ambiental para a instalação, o PIE deve, junto com a distribuidora, apresentar um plano de melhoramento de rede para que os recursos ambientais estejam conciliados com a segurança energética da localidade.

2.1.2 ASPECTOS AMBIENTAIS

Além de analisar as licenças ambientais de cada entidade envolvida no processo de geração de energia, o moderador do acordo operativo deve avaliar, em conjunto com a disponibilidade de rede, a disponibilidade de espaço físico para a incorporação do novo PIE no melhor ponto de conexão com a rede. Caso não haja espaço físico disponível no ponto de conexão, deverá ser realizada uma mudança estrutural na linha de distribuição, atendendo às condições ambientais da localidade para a melhor integração elétrica e ambiental do ponto de conexão.

Neste requisito, também devem ser destacadas as características das construções e da operação dos PIEs, avaliando o impacto ambiental tanto da instalação quanto da operação dos sistemas.

2.1.3 TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA

A capacidade de geração deve ser analisada de forma específica, principalmente o modo de controle do sistema, a capacidade de armazenamento de energia, e os impactos ambientais envolvidos no processo de geração.

Os PIEs que utilizam fonte geradora totalmente despachável devem ser analisados e classificados com geradores de contingência. Isso se deve ao fato de que a forma de armazenamento de energia em combustível é barata e a tecnologia é dominada na região. No entanto, é importante considerar o potencial impacto ambiental.

Os geradores intermitentes devem ser integrados na localidade sem haver um efeito danoso ao sistema de geração de energia já existente, não provocando falhas totais ou parciais de atendimento da carga. Além disso, as fontes intermitentes devem ter preferência no atendimento da carga por terem natureza imediata e não serem despacháveis.

Todavia, cada localidade deve ser analisada individualmente visando observar as particularidades de cada sistema, com o tamanho dos sistemas de geração a serem integrados na cadeia de geração da localidade e as logísticas empregadas no processo de operação de cada fonte de geração.

2.1.4 MODO DE COMUNICAÇÃO

Deve haver uma comunicação direta ao nível das máquinas de geração nos diferentes PIEs para que quando há um evento de variação de geração ou carga, o sistema de geração da localidade absorva o evento independentemente de qual PIE estava assumindo a geração no momento da variação.

A comunicação deve ser vistoriada e monitorada por uma entidade independente, buscado sempre avaliar se o acordo operativo está sendo cumprido e se não há falhas no sistema de comunicação que possam provocar vulnerabilidades no sistema.

2.1.5 CAPACIDADE DE OPERAÇÃO EM CONTINGÊNCIA E SEGURANÇA DA REDE

Deve estar descrito de forma clara e objetiva a capacidade de suprimento de potência, garantindo que não ocorram momentos de possível instabilidade na rede elétrica da comunidade por falta ou excesso de potência no sistema, evitando ultrapassar os limites normativos de variação de tensão e frequência.

Os PIEs envolvidos no processo de geração de energia elétrica da comunidade devem avaliar a capacidade de manutenção da rede em caso de falha de outro PIE. No acordo operativo, deve estar descrita de forma clara e objetiva a capacidade de contingência de cada PIE e suas respectivas responsabilidades.

Para isso, cada PIE deve ter a capacidade individual de gerar energia para a rede e de se conectar a uma rede formada por outro PIE, além de possuir a capacidade de assumir o controle da rede da forma mais breve possível, sem ultrapassar os limites normativos de variação de tensão e frequência.

2.2. REQUISITOS MÍNIMO DO ACORDO OPERATIVO

O sistema de Boa Vista serve como base para a organização dos acordos operativos nas localidades. Nas comunidades do SISOL, o papel do Operador Nacional do Sistema (ONS) deverá ser incorporado pela distribuidora de energia. Todavia, questões de interconexão, transmissão e intervenções devem ser solicitadas a entidades superiores do setor elétrico brasileiro.

Portanto, o Acordo Operativo deve conter, no mínimo, as seguintes seções:

- **Responsabilidades Gerais**
- **Hierarquia Operacional**
- **Relacionamento Operacional**
- **Requisitos Operacionais para os Centros de Operação, Subestações e Usinas**
- **Programação Diária da Operação Eletroenergética**
- **Elaboração do Programa Diário**
- **Operação das Instalações**
- **Controle da Geração**
- **Gerenciamento da Carga**

- **Operação em Contingência**
- **Recomposição após Desligamento Geral**
- **Apuração da Geração**
- **Dados e Informações para Contabilizações, quando aplicáveis**
- **Requisitos de Supervisão e Controle**
- **Requisitos de Telecomunicações**

Em todas as seções, devem ser explicitadas as responsabilidades do agente de distribuição e dos PIEs envolvidos, garantindo sempre a operação mais segura, com menor custo e menor impacto ambiental.

3. ESPECIFICAÇÃO DE ARQUITETURA E TOPOLOGIA ELÉTRICA DAS USINAS

Nas comunidades onde haverá a integração de diferentes Produtores Independentes de Energia (PIEs), é crucial analisar o tipo de consolidação elétrica a ser implementada no sistema. Diferentes fontes de geração e armazenamento de energia podem ser acopladas de distintas maneiras para otimizar a operação do sistema.

Para a implantação de um sistema híbrido, é necessário compreender que existem dois métodos principais de conexão, comunicação e controle desses modelos de geração: o Acoplamento em Corrente Contínua (ACC) e o Acoplamento em Corrente Alternada (ACA). Existe também a possibilidade de utilizar ambos os modelos simultaneamente; no entanto, essa abordagem é recomendada apenas em situações específicas, devido à complexidade adicional introduzida pela presença simultânea de parâmetros de controle ACC e ACA na operação.

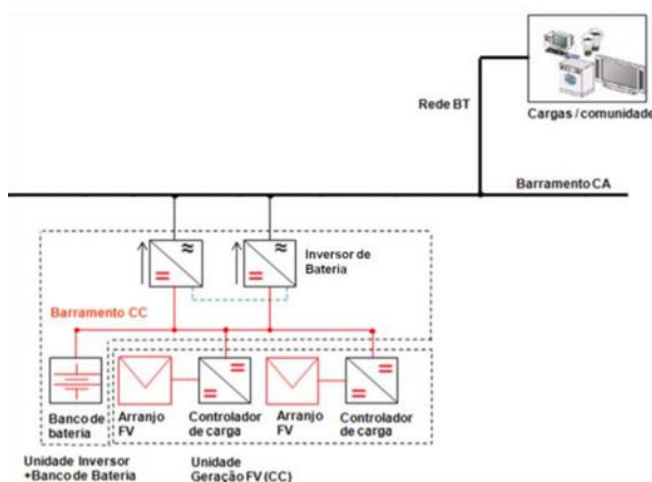
Ambos os tipos de arranjo apresentam benefícios e desafios que podem determinar o modelo ideal de implantação, visando um funcionamento confiável e seguro, sem problemas elétricos, de comunicação ou de fornecimento de energia. Para a seleção entre essas arquiteturas, os responsáveis devem considerar diversos fatores, incluindo as características da curva de carga a ser atendida, os equipamentos adotados, o porte do sistema, a expectativa de expansão futura, as perdas técnicas, a eficiência, a confiabilidade, a flexibilidade de operação, bem como as características e a extensão do terreno destinado à implantação da usina, entre outros aspectos relevantes.

3.1. ACOPLAMENTO CC

O acoplamento em corrente contínua (ACC) é frequentemente utilizado quando há uma fonte de energia intermitente conectada a um sistema de armazenamento que opera em corrente contínua. Este modelo é comumente empregado em sistemas isolados de pequeno porte em Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes (SIGFI) ou Microssistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica MIGDIS, pois envolve a conexão de quase todo o sistema no lado de corrente contínua, sendo inteiramente gerido por um inversor.

A configuração ACC permite a integração eficiente de fontes de energia intermitentes, como a solar fotovoltaica, com sistemas de armazenamento de energia em baterias. Nesse arranjo, a energia gerada e armazenada permanece em corrente contínua até o ponto de conversão final, onde o inversor converte a energia para corrente alternada, conforme necessário para o fornecimento à rede ou ao consumo local. Essa abordagem simplifica o gerenciamento do sistema e pode aumentar a eficiência energética, especialmente em aplicações de menor escala e em locais remotos, conforme apresentado na **FIGURA 1**.

FIGURA 1 - ARRANJO DE SISTEMA ISOLADO COM ACOPLAMENTO CC



(Fonte: ET-PLT Eletrobras).

Nessa arquitetura, o sistema é composto por uma fonte de geração intermitente que gera energia em corrente contínua, conectada a controladores de carga (reguladores de carga). Estes controladores limitam a tensão a níveis seguros para o banco de baterias (BESS) e para o inversor. Além disso, o controlador de carga pode otimizar o ponto de máxima potência (MPPT) do sistema fotovoltaico, permitindo o máximo aproveitamento do recurso solar.

O último componente é o inversor isolado, que fica entre o sistema e a rede de corrente alternada criada a partir dele. Esse inversor é responsável não apenas por regular o fluxo de corrente e potência na rede isolada, mas também por estabelecer os parâmetros de tensão e frequência dessa rede.

Apesar de tipicamente utilizado em sistemas isolados de pequeno porte, sistemas com ACC tem também sido propostos em sistemas isolados de grande escala em virtude da

redução de equipamentos necessários. Ao contrário do acoplamento AC, que requer inversores, equipamentos de comutação e transformadores independentes para geradores e sistema de armazenamento, o acoplamento CC utiliza um único inversor com equipamento de comutação e transformador dedicados. Isso reduz as perdas, pois apenas um circuito de potência é usado para a conversão CC/AC e a conexão à rede.

3.2. ACOPLAMENTO CA

O acoplamento de corrente alternada (CA) em sistemas isolados (**FIGURA 2**) é uma técnica que envolve a conexão de várias fontes de geração distribuída, como módulos fotovoltaicos, turbinas eólicas e geradores termoelétricos, a uma rede elétrica local que opera em CA. Esta topologia é a tipicamente utilizada em sistemas isolados de médio e grande porte e apresenta diversos pontos positivos. Primeiramente, permite a integração eficiente de diferentes fontes de energia, aumentando a resiliência e a confiabilidade da rede elétrica local. Além disso, facilita o uso de equipamentos padrão de rede elétrica, reduzindo custos e simplificando a manutenção.

No entanto, o acoplamento CA em redes isoladas também apresenta desafios. Um dos principais é a necessidade de sincronização precisa entre as diferentes fontes de energia e a rede. Problemas de estabilidade e qualidade de energia, como flutuações de tensão e frequência, também podem surgir, especialmente quando há uma alta penetração de fontes intermitentes, como a solar e a eólica.

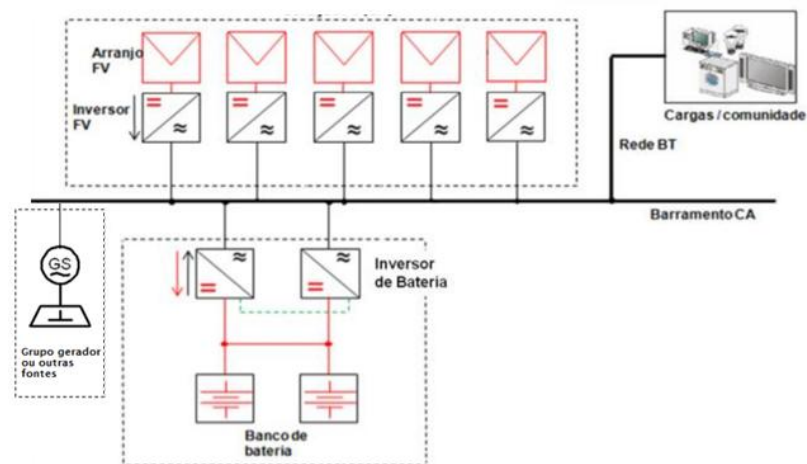
Para a construção de um sistema híbrido renovável em acoplamento CA, o funcionamento ideal envolve o despacho das baterias em paralelo aos geradores, mantendo um número menor de máquinas em operação, funcionando em seu estado de consumo ótimo (geralmente próximo ao nominal do equipamento). Isso pode incluir despachos independentes, carregando as baterias em momentos oportunos e descarregando-as em horários estratégicos. As baterias podem ser carregadas também através de uma análise da rede, permitindo ligar um gerador adicional em sincronia com o consumo existente, gerando uma carga controlada que mantém os geradores dentro do seu range de consumo mais otimizado.

Se for viável, este modelo de instalação permite o uso de inversores de rede on-grid para o sistema fotovoltaico, pois a formação da rede provém do PCS (Power Conditioning

System) acoplado a bateria do sistema, ou ainda de um sistema de comando independente que comunica com todos os componentes geradores da rede.

É importante lembrar que o acoplamento CA é a forma mais conveniente de instalação em casos onde existem outros modelos de geração além do fotovoltaico, como é o caso da maioria das redes isoladas que possuem geradores a combustão (principalmente a diesel).

FIGURA 2 - ARRANJO COM ACOPLAMENTO CA



(Fonte: ET-PLT Eletrobras)

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A integração eficiente dos Produtores Independentes de Energia (PIEs) em sistemas isolados requer a implementação de acordos operativos, garantindo a continuidade e qualidade do fornecimento de energia elétrica. Conforme discutido, é essencial que a distribuidora de energia, atuando como operador da localidade fazendo a coordenação de maneira eficaz a gestão de dados de carga, previsão de geração e despacho de energia, estabelecendo rotinas de atualização e padronização de arquivos eletrônicos para facilitar a comunicação entre os diferentes agentes. A inserção de novos PIEs deve ser minuciosamente planejada, considerando tanto os aspectos técnicos quanto operacionais assegurando que a geração adicional complemente de forma harmônica a infraestrutura existente sem comprometer a segurança e estabilidade do sistema.

Além disso, os acordos operativos devem prever claramente as responsabilidades de cada entidade envolvida, abrangendo desde a programação diária da operação eletroenergética até a gestão em situações de contingência. A capacidade de operação em condições adversas, a manutenção de padrões de qualidade de energia, e a mitigação de impactos ambientais são elementos cruciais para o sucesso desses sistemas. A experiência de sistemas isolados de grande porte, como o de Boa Vista, oferece um modelo operacional a ser adaptado e aprimorado conforme as peculiaridades regionais, promovendo a sustentabilidade e resiliência das redes elétricas em comunidades isoladas. Assim, a adoção de procedimentos rigorosos e a cooperação entre PIEs e distribuidoras são fundamentais para alcançar um fornecimento de energia eficiente, seguro e ambientalmente responsável.

A especificação da arquitetura e topologia elétrica das usinas em comunidades isoladas é um elemento crítico para a integração eficiente e segura de diferentes Produtores Independentes de Energia (PIEs). A escolha entre o acoplamento em corrente contínua (ACC) e o acoplamento em corrente alternada (ACA) deve ser baseada em uma análise detalhada das características operacionais e econômicas de cada localidade. O acoplamento em corrente contínua, frequentemente utilizado para integrar fontes de energia intermitentes com sistemas de armazenamento, oferece vantagens significativas em termos de eficiência e simplicidade operacional, especialmente em sistemas de menor escala, contudo sendo menos disponível comercialmente em aplicações de larga escala.

Por outro lado, o acoplamento em corrente alternada permite uma maior resiliência e flexibilidade, sendo mais adequado para sistemas que combinam diversas fontes de geração,

como fotovoltaica, eólica e termoelétrica, apesar dos desafios adicionais de sincronização e controle.

REFERÊNCIAS

ELETROBRAS, Ministério de Minas e Energia. **Especificações Técnicas dos Programas para Atendimento às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados no âmbito do Programa Luz para Todos.**

Disponível em: <<https://www.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/documentos.asp>>. Acesso em: 17 de novembro de 2022.

SALAMANCA, Henry Leonardo López. **Controle e otimização de microrredes em baixa tensão no contexto brasileiro.** 2018. 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

Sistemas híbridos integrando energia solar e diesel. Canal Solar, 2021. Disponível em:

<<https://canalsolar.com.br/sistemas-hibridos-solar-diesel/>>. Acesso em: 17 de novembro de 2022.

HANDELSMAN, Lior. **Armazenamento de energia por acoplamento direto em corrente contínua.**

Revista Fotovolt, 2017. Disponível em:

<<https://www.arandanet.com.br/assets/revistas/fotovolt/2017/setembro/index.php#page=36>>.

Acesso em: 18 de novembro de 2022.

Transição Energética em Sistemas Isolados (TE Sisol)

Sugestão de Requisitos Elétricos e de Confiabilidade – Produto 11