

# Metodologia de Gerenciamento de Consumidores por Coordenação de Medidores Inteligentes em Microrrede Real

Ivan Luiz Bianchini, Marcos Aurelio I. Martins, Victor Maryama, Cesare Q. Pica, Saulo M. Campos e Jose Nilo R. da Silva Junior

**Resumo** – Este artigo apresenta uma metodologia de gerenciamento energético para uma microrrede através da coordenação de medidores inteligentes de energia elétrica dos consumidores com o religador de conexão, equipamento de fronteira com a rede de distribuição externa. Este trabalho se introduz no contexto de um projeto de P&D mais amplo, cujo objetivo é a implantação de uma microrrede real em um condomínio residencial conectado ao sistema de distribuição em média tensão, baseada em microgeração distribuída a partir de fontes renováveis (fotovoltaica e eólica), sistema de armazenamento de energia e sistemas de gerenciamento energético. Especialmente, este artigo apresenta informações sobre a aplicabilidade dos medidores inteligentes para os modos de operação da microrrede e a transição entre eles, bem como a interação de seus principais equipamentos e unidades controladoras responsáveis pelo gerenciamento energético tanto de forma telecomandada como coordenadamente.

**Palavras-chave** – Geração distribuída, Medidor inteligente, Microrrede, Redes inteligentes.

## I. INTRODUÇÃO

Os sistemas elétricos de potência sempre foram conhecidos por operarem transportando energia de grandes plantas geradoras, por longas distâncias, até os grandes centros de cargas. Com a forte introdução da geração distribuída e a crescente evolução da eletrônica de potência para a geração de energia elétrica com fontes renováveis, como solar e eólica, este cenário de operação vem se alterando cada vez mais, deixando a forma centralizada e passando a ser descentralizada, produzindo energia mais próximo dos consumidores [1].

Neste contexto, apresenta-se um novo conceito em geração e distribuição de energia elétrica, chamado de microrrede. Microrredes são subsistemas da rede de distribuição de energia composto por um conjunto de recursos de energia

distribuída, cargas elétricas controláveis, elementos armazenadores de energia e sistema de controle. Sua principal característica é a capacidade de operar em condições de ilha, ou seja, separadas da rede principal de distribuição de energia elétrica [1] [2].

Basicamente, a microrrede funciona em dois modos operacionais: modo de operação conectado e modo de operação ilhado. A transição entre esses dois modos de operação é coordenada por um sistema de gerenciamento distribuído, de forma a mitigar ou minimizar os possíveis impactos no fornecimento e nos parâmetros de qualidade de energia.

No modo conectado, a microrrede opera em paralelo à rede de distribuição de energia da concessionária, podendo haver intercâmbio de energia entre a microrrede e a rede externa, dependendo da disponibilidade de excedente de energia na microrrede e/ou por eventual despacho a partir de agente operador da microrrede.

Em modo ilhado a microrrede opera de forma autônoma, desconectada eletricamente do sistema de distribuição de energia elétrica da concessionária, tendo suas unidades supridas somente com seus recursos energéticos internos.

Na microrrede em análise foi estabelecido um terceiro modo de operação, denominado modo de manutenção, no qual a microrrede não exercendo nenhuma função de controle e o sistema de armazenamento encontra-se desconectado da rede elétrica. Este modo de operação ocorre quando uma falha interna na microrrede impossibilita seu ilhamento, ou por solicitação da concessionária por comando do centro de operação para fins de manutenção na rede de distribuição de 13,8 kV local. Entretanto, neste modo de operação, mesmo com o sistema de armazenamento desconectado eletricamente, a microrrede pode encontrar-se energizada pela rede de distribuição da concessionária.

Este trabalho se insere como uma das atividades de pesquisa e desenvolvimento do projeto “Desenvolvimento de Aplicação Piloto de Microrrede de Distribuição de Energia com Geração Distribuída e Modelo de Operação Comercial”, código ANEEL PD-0039-0073/2014. O projeto trata-se de desenvolvimento de uma microrrede de distribuição de energia elétrica real que será implantada no condomínio residencial Alphaville Fortaleza, no Ceará, área de concessão da Enel Distribuição Ceará, financiadora do projeto que se encontra em fase de execução.

O projeto no qual este trabalho está inserido tem como objetivo desenvolver um modelo viável de microrrede base-

---

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do IX Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (IX CITENEL).

A equipe da CERTI envolvida na pesquisa agradece ao apoio técnico e financeiro proveniente da Enel Distribuição Ceará.

I. L. Bianchini, C. Q. Pica e M. A. Martins trabalham na Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras – CERTI (e-mails: ilb@certi.org.br; cqp@certi.org.br; mlz@certi.org.br).

J. N. Junior e S. M. Campos trabalham na Enel Distribuição Ceará (e-mail: nilo.rodrigues@enel.com; saulo.campos@enel.com).

ada em microgeração distribuída a partir de fontes renováveis, sistemas de armazenamento e sistemas de gerenciamento energético. Esta microrrede é uma aplicação piloto em um condomínio residencial que abrange apenas dez unidades consumidoras residenciais, o clube poliesportivo e serviços essenciais do condomínio, tais como vigilância, segurança e iluminação pública.

Como interface de conexão da microrrede com a rede de distribuição, é utilizado um religador de distribuição em média tensão, permitindo a desconexão da microrrede em modo ilhado e conexão em modo conectado. O parque de geração da microrrede tem uma potência instalada de aproximadamente 50 kW, distribuídos entre painéis fotovoltaicos instalados nas residências e painéis fotovoltaicos e geradores eólicos instalados em áreas comuns do condomínio. O sistema de armazenamento de energia é composto por baterias de tecnologia de íon-lítio, dimensionado para atender às cargas críticas da microrrede por um período de pelo menos uma hora, em modo ilhado, e funcionando também como uma fonte despachável, possibilitando assim funções de su-

porte a rede, controle de tensão e arbitragem, promovendo uma operação econômica. Como o condomínio residencial engloba um grande número de consumidores e, pelo escopo do projeto, apenas alguns consumidores participam da microrrede, é necessário que durante o processo de ilhamento os consumidores não participantes se desconectem da rede elétrica da microrrede.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de estratégias de gerenciamento dos consumidores através da coordenação da desconexão dos medidores inteligentes com o religador instalado no ponto de conexão da microrrede com a rede de distribuição da Enel Distribuição Ceará.

Este trabalho está organizado da seguinte forma. Na seção II apresenta-se uma descrição geral sobre o projeto de microrrede e as unidades e equipamentos que a compõem, ilustrados na Figura 1. O processo de ilhamento e a metodologia para gerenciamento dos consumidores da microrrede é apresentada na Seção III. Por fim, a seção VI apresenta as conclusões do trabalho.

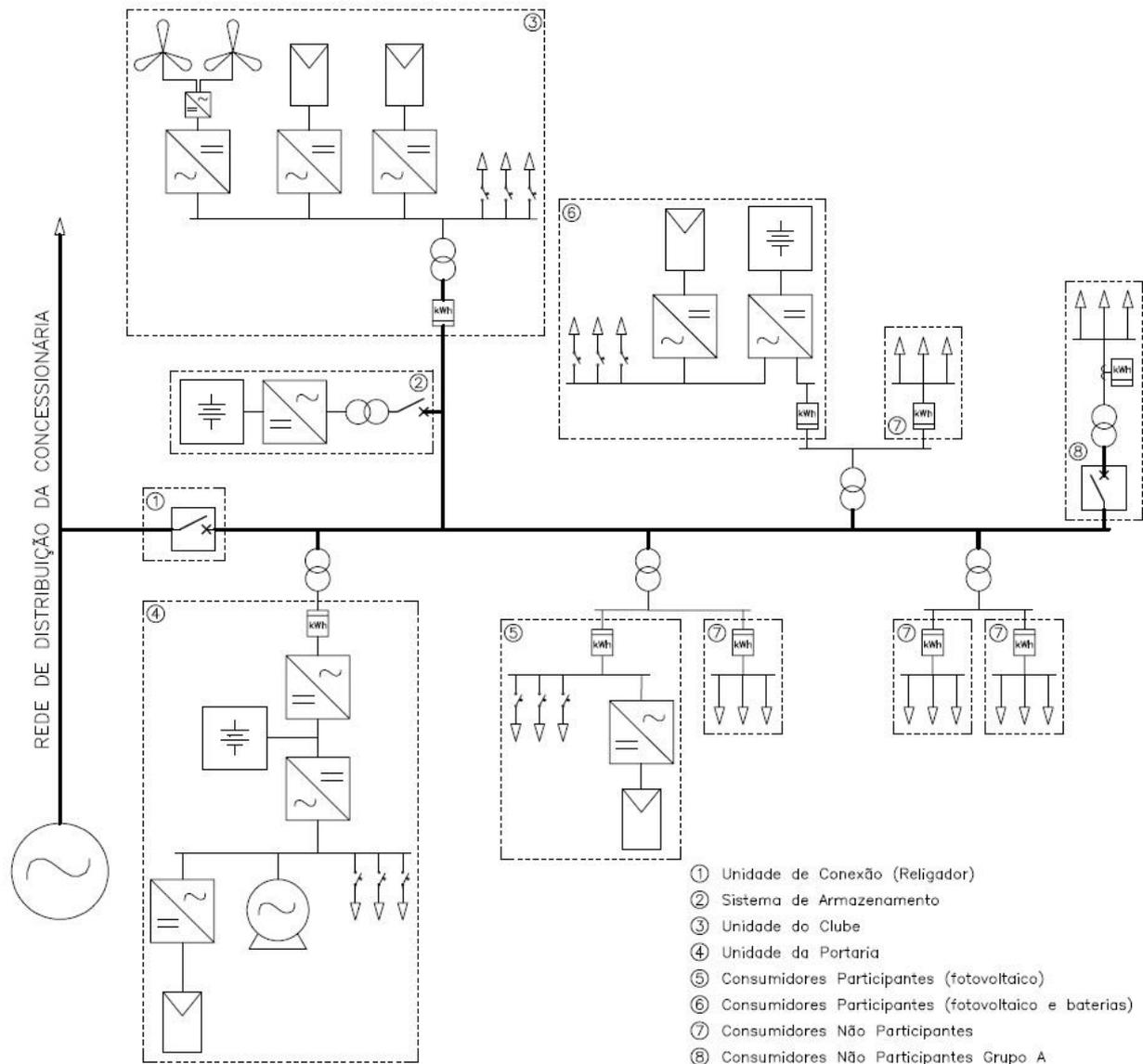


Figura 1 - Arquitetura da microrrede

## II. DESCRIÇÃO DAS UNIDADES DA MICRORREDE

A microrrede do projeto em questão é dividida em unidades, agrupadas conforme suas características, equipamentos e dispositivos em comum, conforme observado na Figura 1. Nas próximas subseções serão apresentadas as principais unidades para o funcionamento da microrrede.

### A. Unidade de Conexão

A Unidade de conexão consiste em um religador de média tensão com seus respectivos equipamentos de medição, proteção e controle e uma unidade de controle da microrrede.

Esta unidade é responsável pela detecção de uma falta permanente de energia e coordenação das operações de ilhamento e reconexão da microrrede, informando as outras unidades de controle uma transição entre os modos de operação. Também é a interface de comunicação com o Centro de Controle da Enel Distribuição Ceará.

A prerrogativa de controle do religador (abertura e fechamento) é exclusiva da Enel Distribuição Ceará, a partir da operação do sistema de comando da própria concessionária ou de forma automatizada pelo próprio religador. Entretanto, o religador envia sinais de comando para o controlador da microrrede para informar a situação atual da rede de distribuição, possibilitando as devidas tomadas de ações de controle.

### B. Sistema de Armazenamento

O sistema de armazenamento é composto por um banco de baterias de ion-lítio de 111 kWh, um conversor CC/CA de 250 kW, um transformador elevador 380V/13800V de 300 kW e uma chave de manobra e seus respectivos equipamentos de controle e proteção, conforme apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Figura 2. Além dos próprios equipamentos de controle esta unidade também é equipada com um controlador local como interface de comunicação com o sistema de controle da microrrede.

Esta unidade coordena a operações de carga e descarga de suas baterias. Em modo ilhado, fornece tensão para todo o sistema de distribuição em média tensão, suprindo as cargas críticas das unidades e fornecendo referência para os inversores da microgeração distribuída. Em modo conectado, pode exercer funções de suporte a rede, controle de tensão e arbitragem a partir do fluxo de potência ativa e reativa, conforme a necessidade e por comando o agente operador da microrrede.

Cada unidade da microrrede possui uma cota de energia reservada no sistema de armazenamento previamente configurada, de acordo com o percentual de carregamento de suas baterias. O sistema de armazenamento gerencia o consumo de cada unidade da microrrede, sendo que serão desconectadas à medida que consumirem totalmente sua parcela de energia.

Para possibilitar a transmissão em média tensão em modo ilhado, o transformador elevador é ligado em estrela na média tensão e triângulo na baixa tensão, desta forma em modo ilhado o ponto comum da ligação estrela do lado de média tensão do transformador elevador do sistema de armazenamento é aterrado temporariamente, para fins de referência de potencial de terra para o sistema de proteção.

### C. Unidade do Clube

A Unidade do Clube é uma unidade consumidora alimentada em média tensão com uma subestação própria, possui uma geração solar de 24,96 kWp e geração eólica de 7 kW, com seus respectivos inversores de energia. O Clube é dotado de cargas controláveis através de dispositivos de resposta a demanda, que realizam medição, corte e religamento de circuito de cargas, instalados nos quadros de distribuição internos do Clube. Desta forma é possível o controle e acompanhamento do consumo de um grupo de cargas da e o gerenciamento das mesmas em uma situação de ilhamento.

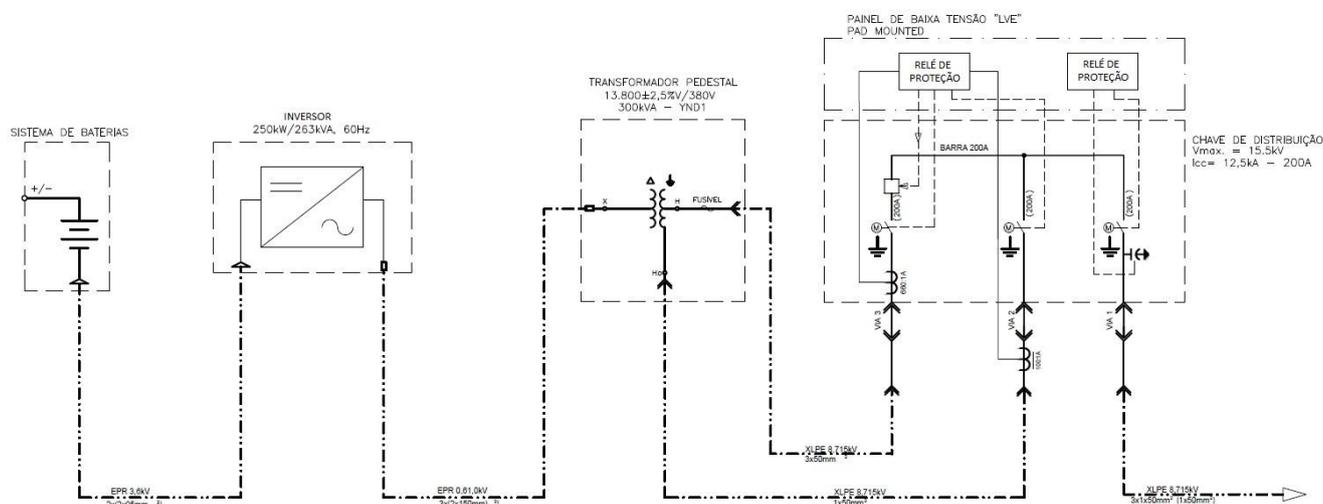


Figura 2 - Sistema de Armazenamento

Esta unidade também é equipada com um quadro de controle e comunicação com um controlador local, equipamento de interface de comunicação com as demais unidades e com o sistema de controle da microrrede.

A potência instalada de geração renovável da Unidade do Clube é inferior ao consumo médio desta unidade, entretanto, com gerenciamento de cargas durante a operação ilhada da microrrede, esta unidade se comporta com uma unidade de geração, fornecendo energia para as demais unidades da microrrede.

#### D. Unidade da Portaria

Esta unidade contém cargas críticas para a segurança do condomínio. Devido a este fato, contém um gerador a diesel como uma unidade de back-up e um conversor back-to-back como interface de conexão com a rede, permitindo uma operação suave durante situações de interrupção no fornecimento de energia, suprimindo as cargas com a energia armazenada em suas baterias. Este conversor foi desenvolvido pelo projeto e suas principais características são apresentadas abaixo na Tabela 1. Da mesma forma que em outras unidades a portaria possui um quadro de controle e comunicação com um controlador local como interface de comunicação com o sistema da microrrede e com ações de controle locais, orquestrando todos estes elementos citados acima.

Tabela I. Características do conversor back-to-back.

Dados	Valor
Potência Nominal	25 kVA
Tensão Nominal	220/380 V +10% -20%
Frequência	60 Hz
Fator de Potência	0,8 atrasado ou adiantado
TDH	Menor que 5%
Tensão Barramento CC	720 V
Tensão de Saída das Baterias	432 V

O conversor back-to-back é dividido em dois equipamentos que funcionam interligados, um com o conversor propriamente dito e outro com as baterias e respectivos controladores de carga, conforme observado na Figura 3.

O gerador a diesel da portaria pode ser usado em um esquema de suporte a microrrede, pela característica de bidirecionalidade do conversor back-to-back, aliviando o sistema durante uma falta de energia da concessionária. Esta unidade também possui uma pequena geração solar de 2,16 kWp.



Figura 3 - Conversor back-to-back

#### E. Consumidores Participantes (fotovoltaico)

Os consumidores participantes (fotovoltaico) estão equipados com dispositivos de resposta a demanda para medição, corte e religamento de circuito de cargas, da mesma forma que a Unidade do Clube, possuem instalados uma geração solar de 2,16 kWp por consumidor, inversores de energia e medidores inteligentes. Cada consumidor possui um quadro de controle e comunicação, equipamento responsável por estabelecer conexões internas e troca de informações com as demais unidades e com o sistema de controle da microrrede.

Durante uma operação ilhada da microrrede estas unidades se mantêm conectadas a rede através dos medidores inteligentes e são supridas pelo sistema de armazenamento e por sua geração renovável. O consumidor participante será desconectado à medida que consumir sua cota de energia reservada no sistema de armazenamento.

O usuário consumidor poderá controlar a conexão das cargas e fazer a gestão energética de sua respectiva unidade consumidora remotamente, através de um aplicativo. Opcionalmente, quando o acesso à internet não estiver disponível, o usuário consumidor poderá fazer a gestão das cargas através de uma IHM local. Também poderá consultar os dados históricos do medidor inteligente da respectiva unidade consumidora, em uma base de tempo diária, mensal e anual.

#### F. Consumidores Participantes (fotovoltaico e baterias)

Os consumidores participantes (fotovoltaico e baterias) além de estarem equipados com dispositivos de resposta a demanda para medição, corte e religamento de circuito de cargas, geração solar de 2,16 kWp, inversores de energia, medidores inteligentes e quadro de comunicação essas unidades também são equipadas com um sistema de armazenamento local, com baterias e inversor com capacidade de aproximadamente 5 kWh, capazes de alimentar alguns circuitos da residência sem a presença da rede.

Desta forma, durante uma operação ilhada e desconexão de seu medidor inteligente, após o esgotamento da cota de energia do sistema de armazenamento, o consumidor possui mais uma parcela de energia armazenada localmente para suprir suas cargas.

O usuário consumidor poderá controlar a conexão das

cargas e fazer a gestão energética de sua respectiva unidade consumidora remotamente, através de um aplicativo da mesma forma que os consumidores participantes (fotovoltaico).

### G. Consumidores Não Participantes

Os consumidores não participantes são equipados apenas com medidores inteligentes que se desconectam automaticamente da microrrede durante a operação ilhada. Esta desconexão é coordenada com a Unidade de Conexão e será esclarecida na seção III.

O usuário consumidor não participante, mesmo não fazendo parte do projeto, também possui um acesso ao aplicativo e poderá consultar apenas os dados históricos do medidor inteligente da respectiva unidade consumidora e alguns dados de geração da microrrede. Esta estratégia visa despertar a curiosidade desses consumidores para futuramente solicitarem a participação do serviço disponibilizado pela microrrede.

### H. Consumidores Não Participantes Grupo A

Os consumidores não participantes pertencentes ao grupo A (alta tensão) também se desconectam da microrrede, entretanto, através de um religador de distribuição configurado como chave seccionadora. A utilização de um religador para efetuar esta desconexão é justificada pelo fato dos medidores dos consumidores do grupo A realizarem uma medição indireta, não possibilitando a substituição por medidores inteligentes e a desconexão diretamente no medidor.

A desconexão destes consumidores em modo ilhado é realizada via comando do sistema de controle da microrrede.

### I. Sistema de Controle

O controle da microrrede será realizado de forma distribuída, através de controladores instalados em cada unidade, reduzindo a possibilidade de falha catastrófica devido a mau funcionamento de qualquer componente individualmente. Esta abordagem simplifica o desenvolvimento de software e evita a necessidade de um sistema central, uma vez que não é necessário observar em cada unidade todos os parâmetros de todos os componentes (baterias, medidores inteligentes e inversores) ao nível microscópico. Toda a interação presente no sistema ocorre somente com o controlador local de cada unidade.

Além disso, essa unidade é composta pelo sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), a partir do qual é realizada a supervisão de toda a microrrede, também utilizado como um banco de dados de informações de todas as unidades, recebendo periodicamente dados relevantes e armazenando-os. Estes dados são exibidos em tempo real através de um sistema supervisório próprio, composto de telas representativas de cada unidade, possibilitando ao operador uma visão geral do funcionamento da microrrede, do estado de seus elementos e o envio de comandos para configuração e operação dos equipamentos das unidades que a compõem.

### J. Iluminação Pública

A unidade de Iluminação Pública não está apresentada na Figura 1 mas compreende todo o sistema de iluminação das vias e praças públicas do condomínio, bem como seus sistemas de comunicação e comando. As luminárias podem ser controladas de forma manual ou automática, de acordo com o estado operacional da microrrede através de fotocélulas inteligentes que se comunicam com o sistema de gerenciamento da Iluminação Pública.

A iluminação do condomínio será controlada para garantir o mais alto nível de conforto e segurança possível mesmo em casos de interrupção no fornecimento de energia da concessionária. As luminárias são divididas em grupos com uma hierarquia de prioridade, sendo que os menos prioritários serão automaticamente desabilitados quando a microrrede transitar para o modo ilhado e os grupos de circuitos mais prioritários, serão desabilitados gradativamente, à medida que a cota de energia do sistema de armazenamento central reservado para a iluminação pública for consumida.

## III. GERENCIAMENTO DE CONSUMIDORES

O conceito de microrrede vem se tornando uma abordagem cada vez mais atrativa de geração distribuída e consumo eficiente, podendo propiciar melhorias em questões técnicas de disponibilidade e qualidade de energia, tanto para o consumidor desfrutar da comodidade da energia elétrica sem interrupções como para a concessionária através da melhoria dos indicadores de qualidade de energia.

A microrrede tem por objetivo possibilitar a oferta do serviço de “energia auxiliar” para seus participantes em uma situação de falta de energia na rede de distribuição da concessionária. Entretanto, necessita-se distinguir uma falta de energia de curta duração de uma falta permanente, para não iniciar ações de controle indevidas diante de um rápido retorno do fornecimento de energia elétrica, como na maioria dos casos. Conforme [3] o sistema de distribuição está mais propenso a faltas de curta duração, a probabilidade da ocorrência de faltas temporárias, menores que um minuto, varia de 75 a 95% do total de faltas.

Na rede básica, entende-se como interrupção de longa duração, a condição em que um ponto permanece com tensão nula por um período maior ou igual a um minuto, em função de problemas internos ou externos à rede básica, locais ou remotos, programados ou não [4]. Em sistemas de distribuição de energia elétrica, segundo resolução da ANEEL, interrupções de longa duração são interrupções cuja duração são maiores ou iguais a três minutos, sendo que para interrupções inferiores a este tempo não são apurados os indicadores de qualidade [5]. Os valores de duração e frequência de interrupções de energia ditados pela ANEEL para a localização da microrrede, são relativamente altos para a Enel Distribuição Ceará, conforme demonstrado na Tabela I.

Tabela I - Limites de frequência e duração de interrupções de energia [6].

DEC (horas)			FEC (número de interrupções)		
Anual	Trimestral	Mensal	Anual	Trimestral	Mensal
20.77	10.38	5.19	13.20	6.60	3.30

Neste contexto, como a microrrede pertence ao sistema de distribuição em 13,8 kV, uma falta de energia inferior a três minutos não é considerada uma interrupção de longa duração, não afetando os indicadores de qualidade da concessionária, entretanto para o consumidor este tempo pode gerar certo desconforto e insatisfação. Sendo assim, a estratégia neste projeto de microrrede é efetuar uma condição de isolamento o mais breve possível dentro das restrições técnicas, não afetando os indicadores de qualidade de energia da Enel Distribuição Ceará.

Desta forma, o tempo de interrupção de fornecimento de energia para garantir que a interrupção seja permanente, após tentativas de religamentos de religadores a montante e outros detalhes técnicos que serão detalhados nas seções seguintes, foi definido em conjunto com a equipe de Operação da Enel Distribuição Ceará como 40 segundos. Desta forma, após todas as funções de controle, a microrrede é energizada em modo ilhado em cerca de 60 segundos após uma falta de energia permanente da rede de distribuição da concessionária.

A escolha deste tempo é fundamentada no tempo de atuação de religamentos automáticos de religadores de distribuição a montante do ponto de conexão da microrrede, que também são muito inferiores a três minutos.

#### A. Tempo de Tentativas de Religamento Automático de Religador de Distribuição.

Os religadores de distribuição, normalmente, são configurados com a função de religamento automático (ANSI - 79) habilitada, para eliminação automática de faltas temporárias.

A utilização do religamento automático por concessionárias é uma prática adotada com frequência, integrando seletividade lógica e elétrica, para reduzir o tempo de interrupção dos consumidores atendidos, onde apenas o circuito de falha permanece desligado [7]. O religamento automático pode ser de atuação rápida ou instantânea como também com atuação lenta ou temporizada, conforme demonstrado na Figura 4.

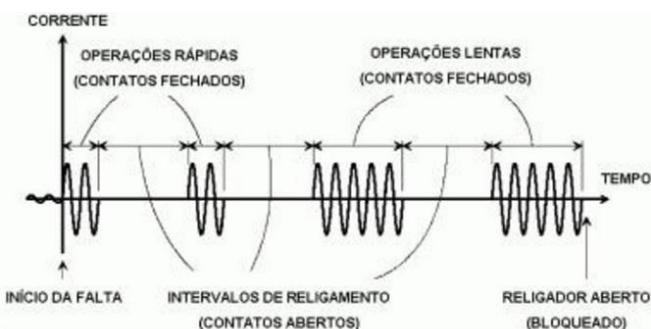


Figura 4 - Atuação de religamento automático [7].

A filosofia de proteção dos religadores de distribuição da Enel Distribuição Ceará a montante do ponto de conexão da microrrede é do tipo 1+2T, isto é, um religamento instantâneo e dois religamentos temporizados, com espaçamento entre tentativas de 10 segundos. Caso o sistema não seja reestabelecido com estas tentativas o religador é bloqueado para religamento e só pode ser fechado via comando do ope-

rador do Centro de Operações ou por comando local.

Desta forma, a soma do tempo máximo entre tentativas de religamento é de 20 segundos, sendo que o tempo de atuação temporizada em cada tentativa não excede os 5 segundos, totalizando um valor máximo de 30 segundos até o bloqueio do religamento do religador. Uma margem de segurança de 10 segundos foi adicionada ao tempo máximo de religamento para garantir o bloqueio do religador mesmo que ocorra alguma descoordenação nos tempos de atuação.

#### B. Medidores inteligentes com base para corte e religamento remoto.

O projeto contempla a instalação de um sistema composto por medidores inteligentes equipados com uma base com relé de corte e religamento remoto em todas as residências do condomínio. Essas bases, ilustradas na Figura 5, são dispositivos que possuem as funcionalidades de coletar dados do medidor de energia elétrica, comunicação via rede Mesh de rádio frequência e realizar as operações de corte e religa no consumidor.

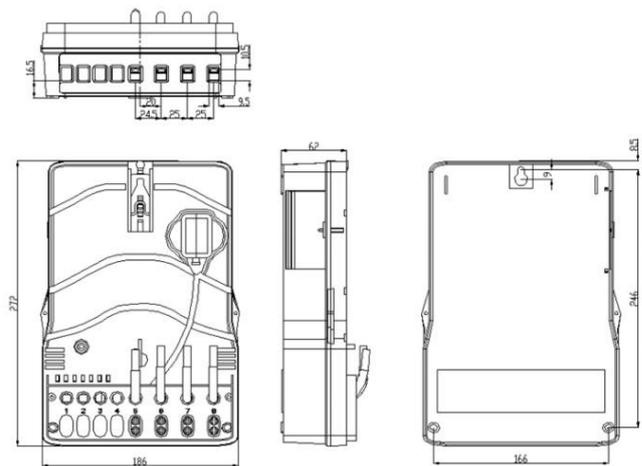


Figura 5 - Base para medidor inteligente

Essas bases tem a funcionalidade de realizar a desconexão dos consumidores não participantes automaticamente após uma falta de energia. Entretanto, os diversos modelos de medidores inteligentes no mercado apenas se comunicam e realizam operações de corte e religamento quando energizados com a presença de tensão em seus terminais. Para a realização de operação de corte em uma falta de energia na rede, em conjunto com o fabricante de medidor inteligente parceiro do projeto, essas bases contem instaladas um supercapacitor capaz de acionar o relé após uma falta de energia. Ainda assim, a comunicação com os medidores inteligente sem a presença de tensão não é possível, o supercapacitor possui energia suficiente apenas para operar o relé. Por este motivo a operação de corte é coordenada com a abertura e bloqueio do religador de conexão da microrrede.

#### C. Coordenação dos medidores inteligentes.

Os medidores inteligentes instalados em todas as residências do condomínio possuem duas pré-configurações, uma para os consumidores participantes do projeto e outra para os consumidores não participantes do projeto. Esta distinção

é necessária para que quando a microrrede for energizada em modo ilhado apenas os consumidores participantes se mantenham conectados a microrrede.

Os consumidores não participantes possuem medidores inteligentes configurados para que os relés de suas bases sejam abertos de forma automática no momento logo após uma falta de energia. Caso a energia retorne antes do tempo configurado, neste caso configurados com tempo de 50 segundos, a base deve religar o relé também automaticamente. Esse período foi definido de forma que aguarde as tentativas de religamento do religador a montante e assegure que o religador de conexão da microrrede esteja aberto e bloqueado após uma falta de energia permanente, conforme mencionado anteriormente.

Os consumidores do tipo participantes nunca terão o relé aberto de forma automática, mantendo-se fechados após uma falta de energia. Os relés dos mesmos só poderão ser abertos por meio de um comando proveniente do sistema de controle da microrrede.

A comunicação do sistema de controle da microrrede com os medidores inteligentes com a base acoplada é realizada através de concentradores espalhados pelos postes do condomínio. O concentrador é o dispositivo responsável por centralizar a comunicação da rede Mesh e fechar o link de comunicação com sistema de controle da microrrede via fibra ótica. A comunicação via rede Mesh se recupera o mais rápido possível após uma falta de energia, mantendo a informação de roteamento por pelo menos 1 hora após a falta de energia.

Após o retorno de fornecimento de energia da rede da concessionária, a microrrede ao transitar para o modo conectado envia comando de fechamento para todos os medidores inteligentes dos consumidores não participantes e verifica se o relé efetivamente se encontra fechado. Para garantir que nenhum consumidor fique desconectado o sistema de controle da microrrede verifica periodicamente o estado do relé de cada base e, caso necessário, envia novamente comando para fechamento.

A pré-configuração dos medidores inteligentes pode ser alterada pelo sistema de controle da microrrede, desta forma caso um consumidor não participante esteja disposto a fazer parte do projeto, sua inclusão é facilitada, apenas modificando sua configuração de não participante para a configuração de participante.

#### D. Coordenação em modo manutenção.

Quando for solicitado o modo manutenção, eventualmente, por uma falha na rede de distribuição interna da microrrede, os medidores inteligentes se desconectarão imediatamente com a falta de energia e não retornarão automaticamente se o tempo de retorno da energia for superior ao tempo predeterminado. Desta forma, em modo manutenção o sistema de controle da microrrede enviará comando de fechamento e realizada a leitura do estado dos relés dos medidores periodicamente para assegurar que todos os consumidores, participantes ou não participantes, estejam conectados com o retorno do fornecimento da rede de distribuição da

concessionária.

#### E. Instalação para teste.

Para garantir o perfeito funcionamento da microrrede e coordenação dos medidores inteligentes durante a sequência de ilhamento e reconexão, diminuindo o transtorno aos moradores do condomínio, será implantado uma instalação temporária utilizando um ambiente controlado dentro da microrrede em análise para verificação do comportamento real do sistema. A premissa desta instalação é a utilização da Unidade do Clube para testes reais de ilhamento, coordenação e reconexão da microrrede utilizando os medidores inteligentes configurados como participantes e não participantes instalados junto aos quadros de carga do Clube.

Nesta instalação, os cortes de fornecimento de energia intencionais para avaliar a mudança de modo de operação da microrrede e coordenação dos medidores não afetarão o fornecimento para as demais unidades consumidoras do condomínio.

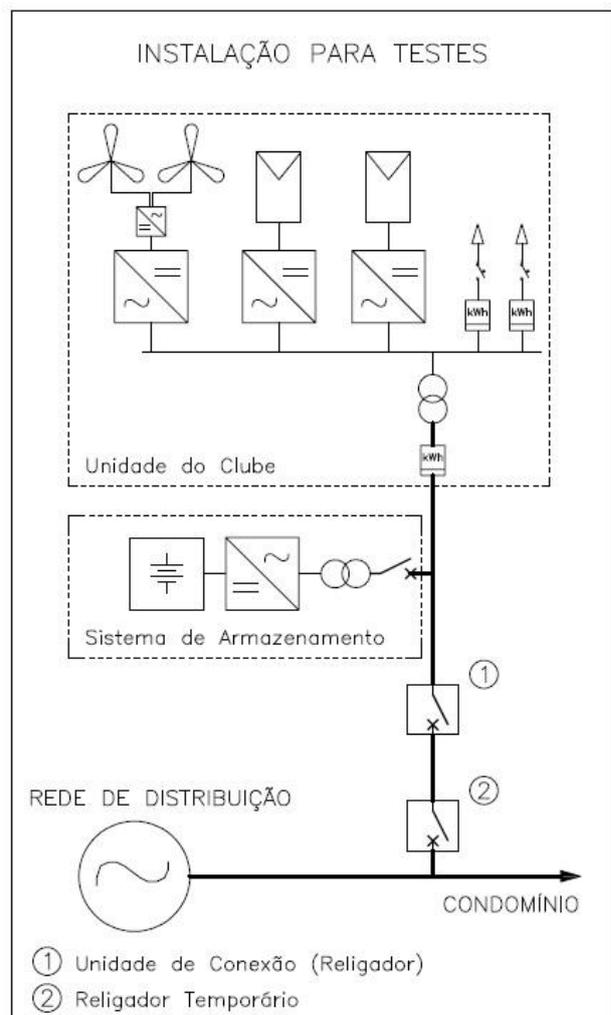


Figura 6 - Instalação para testes de coordenação.

Uma outra vantagem é a utilização dos equipamentos que serão utilizados na configuração final da microrrede, desta forma pode-se testar a interação entre os equipamentos ligados em média tensão, sistema de controle e medidores inte-

ligentes. Também o fato do Sistema de Armazenamento ser testado em seu local final de instalação, com isso outros detalhes de controle e proteção podem ser verificados, como o comportamento da proteção de terra temporário do transformador e as lógicas de comando da Unidade de Conexão.

A utilização de um religador a montante da configuração de teste é fundamental para simular uma falta na rede e principalmente verificar o processo de ilhamento e coordenação dos medidores inteligentes, juntamente com as lógicas de comando para a completa reconexão da microrrede.

#### IV. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou o trabalho de desenvolvimento de uma metodologia para gerenciamento de consumidores através da coordenação de seus medidores inteligentes, a ser aplicado em uma microrrede piloto real, que no momento encontra-se em fase de implantação no âmbito de um projeto de P&D ANEEL para a Enel Distribuição Ceará. O documento apresentou o problema do gerenciamento energético dos consumidores nos seus aspectos operacionais, uma descrição das principais unidades da microrrede piloto e a interação entre elas. Foi também apresentado os modos de operação da microrrede, tanto o modo conectado e ilhado quanto o modo manutenção desenvolvido pelo escopo do projeto, bem como uma instalação provisória para realização de testes sistêmicos. A estratégia de coordenação dos medidores inteligentes adotada no projeto faz com que a operação de uma microrrede seja menos dependente do sistema de controle e propensa a falhas de comunicação entre seus dispositivos. Também pela dimensão do local onde o projeto de microrrede está sendo executado e com a dificuldade de comunicação com todos os medidores inteligentes em uma falta de energia, a estratégia adotada é mais vantajosa do ponto de vista econômico, não necessitando a instalação de equipamentos de comunicação e controle em todas as residências. Para microrredes que podem operar conectadas a rede elétrica, além de otimizar a operação nas situações em que a rede elétrica está ausente, a coordenação dos medidores inteligentes permite que a microrrede seja dimensionada com um custo inicial mais conveniente.

#### V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H.M.A. Antunes, S.M. Silva and B.J.C. Filho, "Análise e Operação de uma Microrrede de Energia Elétrica," VI Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2016.
- [2] R. H. Lasseter, "MicroGrids," IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.02CH37309), vol. 1, no.C, pp. 305–308, 2002.
- [3] Gonen, GONEN; "Electric Power Distribution System Engineering, 1986, McGraw-Hill Book Company, 739 págs.
- [4] Procedimento de Rede do ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico, "Submódulo 2.8 – Gerenciamento dos Indicadores de desempenho da rede básica e de seus componentes", Janeiro de 2017
- [5] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL; "Resolução ANEEL nº 395 de 15.12.2009", Janeiro de 2017
- [6] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL; "Indicadores de Continuidade" Disponível: <http://www.aneel.gov.br/indicadores-coletivos-de-continuidade>
- [7] J. G. Matheus e T. P. Edilberto, "Religamento Automático de uma Subestação Industrial", apresentado no VII ENTEC – Encontro de Tecnologia da UNIUBE, Uberaba, Brasil, 2011.