



Grupo de Estudo de Sistemas de Distribuição-GDI

MODELAGEM E ANÁLISE EM ATP DO COMPORTAMENTO DA MICRORREDE DO CONDOMÍNIO RESIDENCIAL
ALPHAVILLE-FORTALEZA

NATALIA PIMENTEL LADO CES(1); LUCAS MARTINS BELMINO(2); RAIMUNDO FURTADO SAMPAIO(3);
LUCAS SILVEIRA MELO(4); RUTH PASTÔRA SARAIVA LEÃO(5); GIOVANNI CORDEIRO BARROSO(6); EUDES
BARBOSA DE MEDEIROS(7); JOSÉ NILO RODRIGUES DA SILVA JÚNIOR(7);
UFC(1);UFC(2);UFC(3);UFC(4);UFC(5);UFC(6);Enel Ceará(7);

RESUMO

As redes elétricas passam por grandes mudanças em suas estruturas impulsionadas pelo aumento da demanda de energia, pela busca de soluções para mitigar os impactos ambientais e melhorar a qualidade e confiabilidade no fornecimento. Nesse processo, destacam-se os impactos e benefícios proporcionados pela crescente penetração de geração distribuída e microrredes nas redes de distribuição de energia. Este trabalho apresenta a microrrede instalada em um condomínio residencial e sua modelagem e simulação realizada no software ATP. Através da modelagem foram analisados os níveis de tensão da rede elétrica para os modos de operação conectado, ilhado e na ocorrência de curto-circuitos.

PALAVRAS-CHAVE

ATP, Geração Distribuída, Microrredes, Recursos Energéticos Distribuídos.

1.0 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os sistemas elétricos de potência têm passado por grandes transformações estruturais e tecnológicas que visam atender às demandas da sociedade

(1) Campus do Pici - Caixa Postal 6001, - Bloco 705 – CEP 99.999-999, Fortaleza - CE, – Brasil.
Tel: (+55 85) 3366-9581 – Tel: (+55 85) 3366-9193 – Email: nataliapimentelbr@hotmail.com.

moderna por maior confiabilidade e qualidade no fornecimento de energia, bem como promover desenvolvimento sustentável que minimize os impactos ambientais (MARIAM; BASU; CONLON, 2016; YOLDAŞ et al., 2017).

Nesse processo de modernização tornou-se crescente na rede elétrica a penetração de recursos energéticos distribuídos (RED), baseado em geração distribuída (GD) e sistemas de armazenamento de energia, e o uso de tecnologias inovadoras baseadas no conceito de redes elétricas inteligentes (REI) (Hossain, 2018). A crescente penetração de GD na rede elétrica, apesar de contribuir para melhoria da confiabilidade de fornecimento de energia e redução das perdas e dos picos de carga, quando em larga escala, pode elevar os níveis de curto-circuito, aumentar os níveis de sobretensão, causar flutuações e desequilíbrios na tensão e afetar a confiabilidade do sistema de proteção (HUANG et al., 2016). Diante desta problemática, a literatura indica como solução o uso de Microrrede (Hossain, 2018). Uma Microrrede pode ser definida como um conjunto semi-autônomo de RED e cargas interconectadas que atuam como um único sistema controlável com relação à rede externa principal, atuando de forma conectada ou ilhada desta (LASSETER et al., 2002).

Nos últimos anos tornou-se crescente a pesquisa, desenvolvimento e implantação de microrredes em função das suas vantagens, que incluem: confiabilidade e segurança no fornecimento de energia, menor impacto ambiental e desenvolvimento sustentável, redução de perdas, alívio da rede de distribuição e benefícios econômicos e sociais. Apesar dos benefícios das microrredes a sua implantação envolve vários desafios, como elevado custo de implantação, falta de regulamentação, maior complexidade de operação, dificuldade de previsão de despacho e de demanda,

necessidade de reformulação dos procedimentos de operação, controle e proteção das redes de distribuição (HATZIARGYRIOU, 2014).

Diante desses desafios, os estudos sobre microrredes são crescentes no Brasil e no mundo. Em Hossain (2018) é apresentado uma vasta revisão bibliográfica sobre a evolução, os desafios e oportunidades das microrredes. Em Mumtaz (2017) os autores abordam sobre o planejamento, operação e proteção de microrredes. Em Carneiro (2016) os autores apresentam a Implementação de uma microrrede supervisionada de conversão solar fotovoltaica na Universidade Federal do Ceará.

Em Barros (2018) os autores apresentam a arquitetura de um projeto piloto de microrrede que visa atender o condomínio residencial Alphaville - Aquiraz (CE), a modelagem do sistema de controle usando Redes de Petri Coloridas e a modelagem, simulação e análise do fluxo de carga da microrrede usando o software ATP.

Esse artigo tem como objetivo apresentar a modelagem e estudos da microrrede do Condomínio Residencial Alphaville utilizando o ATPDraw. Nesse artigo são apresentados os resultados da análise dos níveis de tensão considerando os seguintes cenários de operação da microrrede: modos ilhado e conectado com carga equilibrada e desequilibrada. Além disso, foram analisados os possíveis impactos nos níveis de tensão durante a ocorrência de curto-circuito monofásico e trifásico com a microrrede operando em modo conectado. Para análise dos níveis de tensão, tomou-se como parâmetro os requisitos estabelecidos no módulo 8 do PRODIST que trata da Qualidade de Energia Elétrica.

Esse artigo está organizado em seis seções. Na primeira seção é apresentada a revisão bibliográfica, motivações, objetivo e aplicação do estudo. Na segunda seção é apresentada a microrrede do condomínio residencial Alphaville, objeto de estudo desse trabalho. Na terceira seção é mostrada a metodologia de modelagem no ATP da microrrede em estudo. Na quarta seção são apresentadas as simulações realizadas e resultados obtidos, assim como a discussão desses resultados. Por fim, na quinta seção são abordadas as conclusões desse estudo.

2.0 - DESCRIÇÃO DA MICRORREDE

As microrredes normalmente são instaladas em vilas, condomínios e pequenas cidades. A microrrede em estudo foi implantada no condomínio residencial Alphaville Fortaleza, localizado no município Aquiraz – Ceará, cujo fornecimento de energia é feito em média tensão (13,8 kV) através de dois alimentadores. A microrrede é produto do projeto de P&D de título “Desenvolvimento de Aplicação Piloto de Microrrede de Distribuição de Energia com Geração Distribuída e Modelo de Operação Comercial”, financiado pela concessionária Enel Distribuição Ceará. Na Figura 1 é apresentada a configuração da microrrede no condomínio Alphaville-Fortaleza e seus principais recursos energéticos distribuídos e tecnologias: religador, transformadores, sistema supervisório, geração eólica, geração solar fotovoltaica, baterias, cargas prioritárias e não prioritárias, controladores, medidores e concentrador de medição.

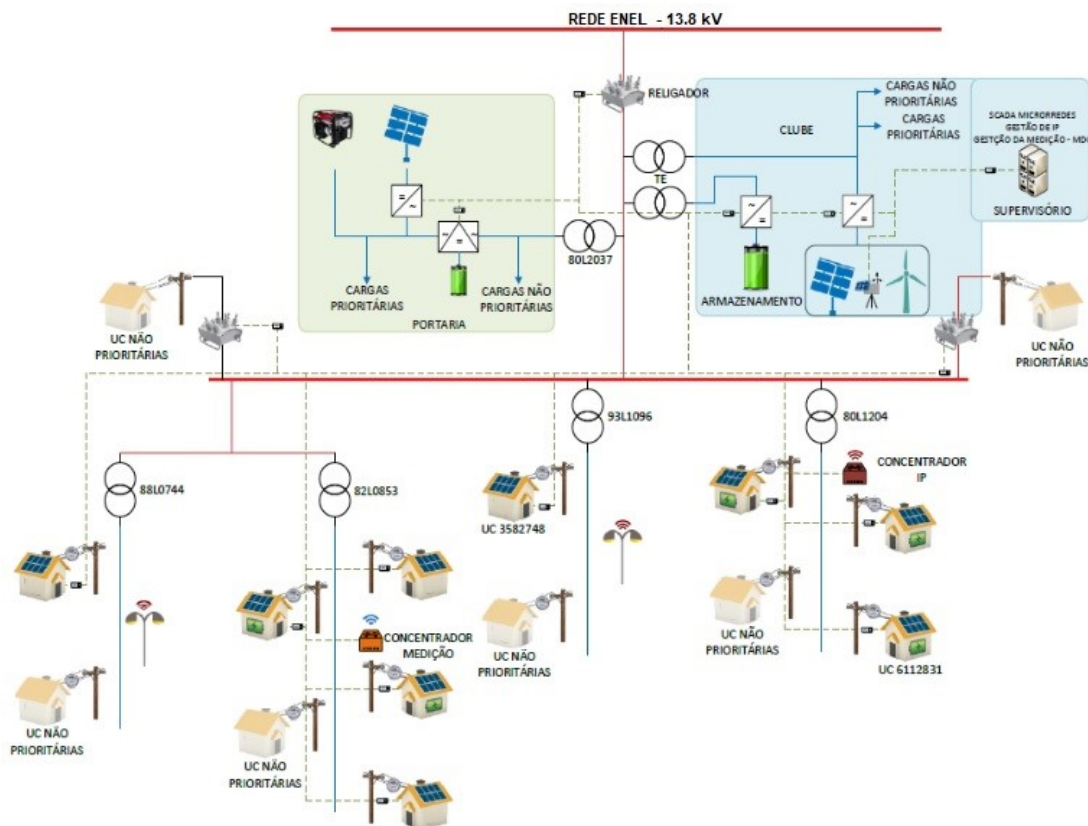


FIGURA 1 –Arquitetura do projeto piloto da microrrede Alphaville Fortaleza

A arquitetura da microrrede abrange algumas unidades: Unidade de conexão com a rede principal, o religador instalado no ponto de conexão comum (PCC); Unidade da Central de Armazenamento de Energia; Unidade do Clube do Condomínio; Unidade da Portaria do Condomínio; Unidades Residenciais e Unidade de medição controle e supervisão. Essas unidades serão detalhadas nos próximos tópicos.

A unidade de conexão, representada pelo religador, instalado no PCC (ponto comum de conexão), que possui associado um IED de proteção multifunção integrado ao Sistema de Controle e Aquisição de Dados (SCADA) do Centro de Controle do Sistema (CCS) da concessionária Enel, possuindo recursos para, de forma automática ou manual, conectar e desconectar a microrrede, colocando-a em modo ilhado.

A Unidade Central de Armazenamento de Energia é composta por um conjunto de baterias íon-lítio com potência nominal de 250 kW / 111 kWh, um conversor para conversão de tensão CA/CC e controle de carga e descarga das baterias e um transformador 380-13800 V de potência nominal de 300 kVA para adequação ao nível de tensão da rede. Essa unidade permanece em *stand-by* durante todo período em que a microrrede estiver operando em modo conectado à rede externa principal, sendo acionada para atuar como fonte de alimentação principal da rede de distribuição interna do condomínio na ocorrência de faltas na rede externa. Quando a microrrede opera no modo ilhado, as baterias do sistema de armazenamento irão fornecer energia às cargas consideradas prioritárias.

O clube é uma unidade consumidora de abastecimento de energia realizado em tensão primária composta de fontes de microgeração solar fotovoltaica de potência instalada de 24,96 kW e eólica de potência instalada de 3,5 kW. A conexão entre essas fontes e a rede de distribuição realizada em nível de tensão secundária. A saída da

central microgeradora de energia fotovoltaica é trifásica e, na fonte eólica, a saída disponível é em tensão monofásica de 220 V.

O projeto da microrrede inclui dez unidades residenciais trifásicas com geração fotovoltaica monofásica conectada à fase C. Dentre as dez unidades residenciais, cinco possuem um banco de baterias off-grid local instalado para operação em modo ilhado, no caso de se esgotar a capacidade do sistema de armazenamento central. A potência máxima de geração dessas unidades é de 2,16 kW. Nas demais unidades, a potência de microgeração é de 2,04 kW.

A portaria é uma unidade trifásica atendida em baixa tensão com geração fotovoltaica conectada à fase C, cujas características de projeto são iguais às das unidades residenciais sem bateria. Além disso, a unidade possui um gerador a diesel operando como unidade de *backup* e um conversor *back-to-back* utilizado como interface para operação em modo ilhado e um banco de baterias. Para os casos de falta externa da rede de distribuição, a portaria é desconectada da rede do condomínio e o banco de baterias passa a suprir suas cargas críticas como única fonte de fornecimento. O gerador a diesel é acionado apenas nos casos de estado de carga muito baixo das baterias. Quando é detectada rede nos terminais do conversor, este alterna o modo de operação, passando a rede externa a ser a fonte principal de suprimento de energia para a portaria.

O sistema de controle garante a operação no modo conectado e ilhado, isolado da rede de distribuição da concessionária. No modo ilhado, a microrrede se desconecta automaticamente da rede elétrica externa ao condomínio, passando a Unidade Central de Armazenamento, projetada para operar em modo ilhado, a ser a principal fonte de alimentação, operando como um conversor de energia. No modo conectado, a rede elétrica juntamente com as fontes de geração distribuída (eólica e fotovoltaica) suprem as cargas de toda a microrrede.

Alguns sistemas para medição, controle e supervisão compõem o projeto da microrrede como sistema de medição de energia, para gestão dos medidores das unidades participantes e não participantes do projeto, sistema de controle para a Iluminação Pública (IP) dentro da área do condomínio e controladores locais para as unidades residenciais participantes e não participantes, unidade de armazenamento central, unidade da portaria e unidade do clube. A integração dos sistemas dessas unidades é feita através do sistema *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), cuja atuação corresponde a de controlador central da microrrede. Soluções como fibra óptica, wireless ou cabeamento de rede compõem a infraestrutura de comunicação da microrrede.

3.0 - MODELAGEM DA MICRORREDE NO ATP

Nessa seção é apresentada a metodologia utilizada na modelagem da microrrede e nas as principais unidades da microrrede no software ATPDraw.

O ATPDraw é um pré-processador gráfico e orientado por mouse para a versão *Alternative Transient Program* (ATP) do *Electromagnetic Transient Program*/Programa de Transitórios Eletromagnéticos (EMTP). O software possibilita o desenvolvimento e simulação de sistemas elétricos através de uma biblioteca de componentes pré-definidos, podendo ser feita uma análise por fase de parâmetros importantes como corrente e tensão. Os modelos de componentes pré-modulados são subdivididos em grupos de abrangência no ATPDraw, dentre os quais: fontes de tensão e corrente, chaves, linhas e cabos, motores, transformadores, medidores e splitters.

3.1 Modelagem de alimentadores e rede de distribuição interna

Para modelagem dos transformadores da rede de distribuição interna do condomínio foram coletados os dados referentes aos treze transformadores: potência, tensão primária e secundária, impedância, corrente de excitação e relação entre reatância e resistência. Para curva de saturação, adotou-se os dados da curva da chapa de aço silício de grãos orientados da acesita. Esses dados são utilizados para o cálculo dos parâmetros de entrada do modelo SATTRAFO do ATP, apresentado na Figura 2.

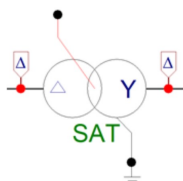


FIGURA 2 – SATTRAFO

As impedâncias acumuladas de sequência positiva e sequência zero da rede de média tensão foram obtidas para a modelagem dos alimentadores, utilizando-se o modelo de linha LINEPI3S da biblioteca de elementos do ATPDraw. Os parâmetros de entrada desse elemento calculados a partir dos dados coletados são resistência, indutância e capacitância de sequência positiva e sequência zero. A impedância foi considerada desprezível para rede de baixa tensão devido à sua pequena extensão.

3.2 Modelagem das cargas

As cargas foram divididas entre unidades com e sem microgeração. Estimou-se a carga das UC com geração a partir da carga total instalada, aplicando-a no cálculo de demanda. Para as demais unidades conectadas aos transformadores de distribuição, adotou-se uma potência de 2,25 kVA por UC com base no critério de projetos de redes de distribuição aérea de média e baixa tensão da Enel (ENEL, 2017), a partir de uma análise do perfil de consumo das unidades consumidoras do condomínio, que superam 500 kWh. O Clube, que é atendido em média tensão, possui demanda contratada de 84 kW, que foi o valor adotado para modelagem de sua carga nesse caso. Todas essas cargas foram conectadas através de chaves para possibilitar o controle das cargas que continuam alimentadas no modo ilhado e aquelas que devem ser retiradas de serviço.

O componente adotado para modelagem das cargas de distribuição de cada fase foi o modelo de circuito RLC, no qual foram cadastrados os valores de resistência, indutância e capacitância. Esses valores foram calculados a partir dos valores de potência aparente, tensão na carga, frequência e fator de potência. Estando as cargas alimentadas em baixa tensão, o valor de tensão de fase é de 220 V e a frequência de 60 Hz. O fator de potência adotado, considerado compatível com o perfil de consumo residencial, foi de 0,95.

Foram simulados casos de carga equilibrada e desequilibradas entre as fases. Para simulação de casos de carga desequilibrada, a potência atribuída à fase A foi 40% da potência atribuída em simulações de carga equilibrada, a fase B com 60 % do valor e a fase C com 80% do primeiro valor de potência utilizado.

3.3 Modelagem das unidades com geração

As fontes de geração fotovoltaicas foram modeladas através de uma fonte de corrente alternada representando o conjunto de geração e inversor. O elemento do ATP utilizado para esses casos foi o ACSOURCE e os dados inseridos na modelagem foram valores de amplitude de corrente, frequência e ângulo de fase. Para garantir a injeção de apenas potência ativa, característica dos inversores adotados, o ângulo de fase da corrente foi ajustado para o mesmo da tensão na fase em que a geração está conectada estejam em fase. O valor de amplitude da fonte foi ajustado baseando-se na corrente de injeção na rede de projeto. Assim, ajustou-se a fonte com amplitude de 13,88 A para as unidades residenciais com sistema de armazenamento e 13,11 A para as unidades sem sistema de armazenamento.

Na Figura 3 é mostrada a configuração das unidades residenciais com geração monofásica e da portaria. As cargas modeladas por fase estão chaveadas para estabelecer o controle de carga em modo ilhado. Não foi modelada a bateria e o gerador a diesel da portaria, pois os mesmos só operam em modo ilhado como um subsistema independente, não interferindo na rede de distribuição.

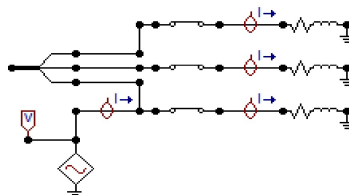


FIGURA 3 – Modelagem de unidade residencial com geração fotovoltaica

A modelagem do clube segue a mesma metodologia adotada nas unidades residenciais, sendo a geração fotovoltaica trifásica. A modelagem da fonte eólica é parte da continuação desse trabalho e seus efeitos para rede de distribuição foram representados através da subtração da potência média gerada pela fonte da potência utilizada para modelagem da carga, o que é um valor pouco representativo, pois essa fonte supre em média 2,3 kW da carga da fase em que está conectada, cuja demanda total das três fases é de 84 kW. Para simulação de curtos-circuitos, foi estimado em projeto que a fonte eólica injeta uma corrente máxima de 15,09 A por aerogerador, sendo modelada uma fonte de corrente de 30 A chaveada na fase C do clube. Na Figura 4 é apresentada a configuração de modelagem do clube.

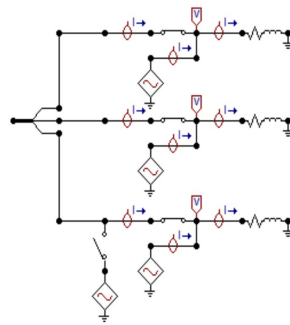


FIGURA 4 – Modelagem do clube

3.4 Modelagem do sistema de armazenamento

O Sistema de Armazenamento Central foi modelado através de fonte de tensão alternada representando o conjunto bateria e inversor seguido por um transformador para adequação ao nível de tensão da rede de distribuição. Uma fonte de corrente alternada de 22 A chaveada foi utilizada para simulação de situações de curto-circuito, baseando-se no valor de projeto.

3.5 Modelagem completa da microrrede

A modelagem completa da microrrede é apresentada na Figura 5. As UC com geração e cargas estão representadas no modelo comprimido GROUP implementado através da ferramenta Compress.

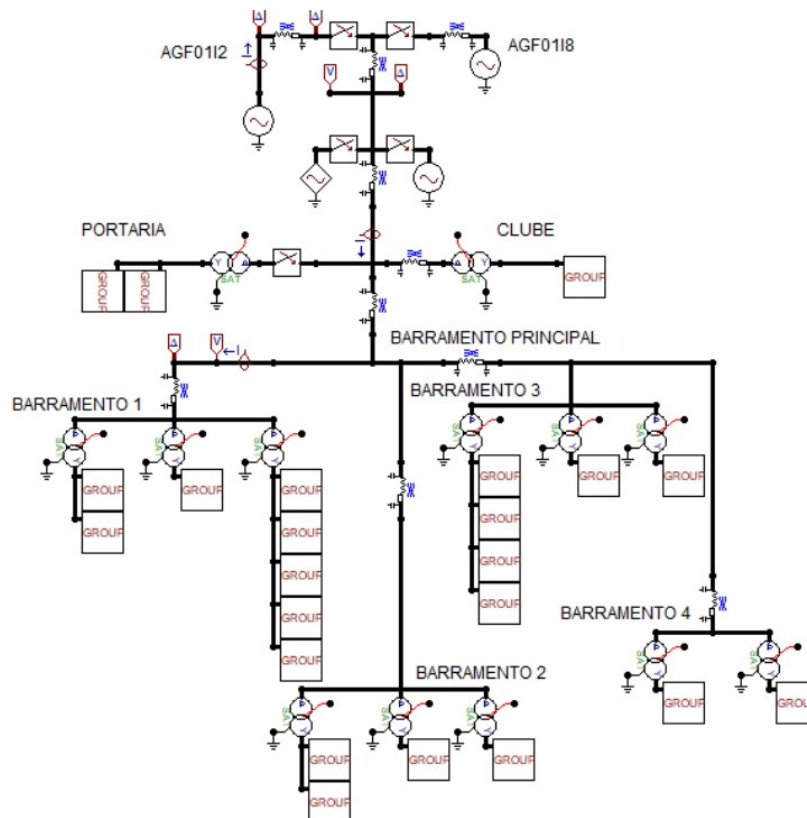


FIGURE 5 – Modelagem da microrrede do condomínio residencial Alphaville

4.0 - SIMULAÇÃO E ANÁLISE DA MICRORREDE

A partir do modelo construído foram simuladas situações de operação da microrrede com carga totalmente

equilibrada, com certo nível de desequilíbrio e na ocorrência de curtos-circuitos monofásicos e trifásicos. Para as duas primeiras situações foram verificados os níveis de tensão de linha e de fase na média tensão próximo ao ponto de entrada do condomínio e na baixa tensão na saída do transformador de código 82L0853, apresentado na Figura 1, que possui 4 unidades residenciais com geração fotovoltaica conectadas. Nas simulações de curto-circuito foram verificados os níveis de tensão e corrente com as fontes de geração distribuída conectadas e desconectadas da microrrede para verificar sua influência nos parâmetros em estudo.

Na Tabela 1 são apresentados os valores eficazes de tensão de fase e de linha na média tensão e na baixa tensão em um comparativo com os respectivos valores nominais para situação de carga equilibrada no modo conectado à rede externa. O ajuste das fontes de tensão conectadas aos alimentadores modelados que fornecem energia ao condomínio foi feito com um valor nominal de tensão de linha de 13,8 kV. Assim, a elevada impedância entre a fonte modelada e a entrada do condomínio justifica a queda de tensão no alimentador. A existência de reguladores de tensão no alimentador garante, certamente, valores mais próximos aos nominais, entretanto, não foram coletados dados a respeito da posição e ajuste dos reguladores de tensão para que se possa inserir outro valor de tensão na fonte.

Tabela 1 – Tensão de fase e de linha para cargas equilibradas no modo conectado

Fase	Tensão de Fase Nominal [V]	Tensão de Fase Medida [V]	Tensão de Fase Medida [pu]	Linha	Tensão de Linha Nominal [V]	Tensão de Linha Nominal [V]	Tensão de Linha Medida [V]
MT							
A	7967.434	7882.8264	0.9894	AB	13800	13646.453	0.9889
B	7967.434	7882.1193	0.9893	BC	13800	13655.646	0.9895
C	7967.434	7888.4832	0.9901	CA	13800	13657.060	0.9896
BT							
A	220	213.5533	0.9707	AB	380	369.8381	0.97326
B	220	213.3836	0.9699	BC	380	369.4209	0.97216
C	220	214.0483	0.9729	CA	380	371.3866	0.97733

Os níveis de tensão de fase tanto na baixa tensão quanto na média tensão apresentaram uma elevação pouco significativa na fase C, na qual se concentra a maior parte da geração. Apesar das quedas de tensão apresentadas desde a fonte até a entrada do condomínio, os níveis de tensão estão na faixa de valores adequados aos estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST.

Na Tabela 2 são apresentados os valores de tensão de linha e de fase na média e baixa tensão obtidos para operação em modo ilhado.

Tabela 2 – Tensão de fase e de linha para cargas equilibradas no modo ilhado

Fase	Tensão de Fase Nominal [V]	Tensão de Fase Medida [V]	Tensão de Fase Medida [pu]	Linha	Tensão de Linha Nominal [V]	Tensão de Linha Nominal [V]	Tensão de Linha Medida [V]
MT							
A	7967.434	7965.5579	0.9998	AB	13800	13797.067	0.9998
B	7967.434	7965.5579	0.9998	BC	13800	13797.067	0.9998
C	7967.434	7965.5579	0.9998	CA	13800	13797.067	0.9998
BT							
A	220	219.7971	0.9991	AB	380	378.8466	0.9970
B	220	219.7971	0.9991	BC	380	378.8466	0.9970
C	220	219.2738	0.9967	CA	380	380.3457	1.0009

Para operação em modo ilhado com cargas modeladas de forma equilibrada entre as fases, ainda existe uma pequena concentração de carga na fase C devido ao controle das cargas que caracteriza esse modo de operação. Verifica-se que os níveis de tensão estão com valores muito próximos aos nominais, evidenciando a vantagem da localização da fonte principal de energia próximo à carga. Além disso, constatou-se que a quantidade um pouco maior de carga na fase C, devido à seleção de cargas prioritárias do modo ilhado, não

impactou em desequilíbrios significativos entre as fases.

Para os mesmos pontos de medição da situação anterior, foi simulada a operação da microrrede com cargas desequilibradas no modo conectado e ilhado. Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os valores obtidos.

Tabela 3 – Tensão de fase e de linha para cargas desequilibradas no modo conectado

Fase	Tensão de Fase Nominal [V]	Tensão de Fase Medida [V]	Tensão de Fase Medida [pu]	Linha	Tensão de Linha Nominal [V]	Tensão de Linha Nominal [V]	Tensão de Linha Medida [V]
MT							
A	7967.434	7959.901	0.9991	AB	13800	13769.490 4	0.9978
B	7967.434	7930.2025	0.9953	BC	13800	13706.557 9	0.9932
C	7967.434	7923.8386	0.9945	CA	13800	13758.176 6	0.9970
BT							
A	220	217.612	0.9891	AB	380	377.6516	0.9938
B	220	216.039	0.9820	BC	380	374.4908	0.9855
C	220	215.816	0.9810	CA	380	374.9787	0.9868

Tabela 4 – Tensão de fase e de linha para cargas desequilibradas no modo ilhado

Fase	Tensão de Fase Nominal [V]	Tensão de Fase Medida [V]	Tensão de Fase Medida [pu]	Linha	Tensão de Linha Nominal [V]	Tensão de Linha Nominal [V]	Tensão de Linha Medida [V]
MT							
A	7967.434	7966.9721	0.9999	AB	13800	13799.188 9	0.9999
B	7967.434	7966.9721	0.9999	BC	13800	13799.188 9	0.9999
C	7967.434	7966.9721	0.9999	CA	13800	13799.188 9	0.9999
BT							
A	220	219.6344	0.9983	AB	380	380.4659	1.0012
B	220	219.6344	0.9983	BC	380	380.0062	1.0000
C	220	219.5354	0.9979	CA	380	380.7487	1.0020

Para a situação de cargas desequilibradas e modo conectado, verifica-se uma maior diferença de tensão entre as fases, o que é provocado pelo elevado desequilíbrio de carga sendo que as fases com menor carga apresentam tensões mais elevadas e próximas do valor nominal. A diferença entre a tensão da fase A e a fase B é maior que entre a fase B e a C. Assim, conclui-se que a geração distribuída, mais concentrada na fase C, contribui para elevar um pouco o nível de tensão na fase com maior carregamento. Para o modo ilhado, novamente, devido a menor quantidade de carga e com a fonte principal próxima, verifica-se uma grande proximidade entre os valores medidos e o valor nominal, sendo perceptível um desequilíbrio mínimo apenas na baixa tensão na fase C. Todos os valores estão dentro dos limites estabelecidos no Módulo 8 do PRODIST com um aumento do desequilíbrio de tensão para o modo conectado.

Posteriormente, foram simuladas a ocorrência de curtos-circuitos monofásico na fase C e trifásico próximo ao barramento principal com as situações das fontes da geração conectadas e desconectadas. O objetivo dessa simulação foi verificar a influência das gerações distribuídas nos níveis de curto-circuito. Na Tabela 5 são apresentados os valores de corrente e tensão de fase para essas situações, evidenciado-se a pequena influência das fontes de microgeração instaladas na baixa tensão nos níveis de curto-circuito na média tensão.

Tabela 5 – Tensão e corrente de fase na ocorrência de curto-circuitos monofásico e trifásico

Curto-Circuito	GD	Tensão de fase barramento principal [V]			Corrente de curto-circuito [A]		
		A	B	C	A	B	C
Monofásico - Fase C	Com	15416	14331	0	0	0	1114
	Sem	15405	14321	0	0	0	1112.4
Trifásico	Com	0	0	0	2284	2285.3	2284.7

	Sem	0	0	0	2283.4	2284.9	2281.9
--	------------	---	---	---	--------	--------	--------

5.0 - CONCLUSÕES

As análises feitas nesse trabalho permitiram constatar que a microrrede estudada apresenta baixos impactos com relação aos níveis de tensão nas redes de distribuição e nos consumidores. Verificou-se que as fontes de microgeração distribuídas internas à microrrede não provocaram impactos significativos nos níveis de tensão para o modo ilhado e conectado, permanecendo estes dentro dos limites estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST. Além disso, constatou-se também que as fontes não contribuíram significativamente nos níveis de curto-circuito. A partir dessa análise, conclui-se que as microrredes têm grande potencial para expansão dos recursos energéticos distribuídos na rede de distribuição sem impactos significativos para essas. O trabalho apresentou um modelo inicial da microrrede que pode ser evoluído para o estudo da influência da sua operação em outros parâmetros de qualidade e que pode ser aplicado de forma similar no estudo de outras microrredes.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 qualidade da energia elétrica. Brasília-DF, 2017.
- (2) MARIAM, L.; BASU, M.; CONLON, M. F. Microgrid: Architecture, policy and future trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 64, p. 477–489, 2016.
- (3) HUANG, J.; GUPTA, V.; HUANG, Y. Electric grid state estimators for distribution systems with microgrids. In: *Proceedings of the 46th Annual Conference IEEE Information Sciences and Systems (CISS)*. [S. l.]: [s.n.], 2016. p. 16.
- (4) YOLDAŞ, Y. et al. Enhancing smart grid with microgrids: Challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 72, n. June 2016, p. 205–214, 2017.
- (5) SERNA-SUÁREZ, I. D.; ORDÓÑEZ-PLATA, G.; CARRILLO-CAICEDO, G. Microgrid's energy management systems: A survey. In: *2015 12th International Conference on the European Energy Market (EEM)*. IEEE, 2015. p. 1-6.
- (6) MUMTAZ, Faisal; BAYRAM, Islam Safak. Planning, operation, and protection of microgrids: An overview. *Energy Procedia*, v. 107, p. 94-100, 2017.
- (7) HOSSAIN, Md Alamgir et al. Evolution of microgrids with converter-interfaced generations: challenges and opportunities. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, v. 109, p. 160-186, 2019.
- (8) CARNEIRO, Aluísio V. et al. Implementação de uma microrrede supervisionada de conversão solar fotovoltaica na Universidade Federal do Ceará.
- (9) HATZIARGYRIOU, N. *Microgrids: Architectures and Control*. [S. l.]: Wiley-IEEE Press, 2014.
- (10) ENEL DISTRIBUIÇÃO CEARÁ. Critério de Projeto CP-C 001/2017 R-04: Rede de distribuição aérea de média e baixa tensão. Fortaleza-CE, 2017.
- (11) BARROS, F. et al. Modelagem e Simulação de uma Microrrede utilizando ATP e Redes de Petri. SENDI XXIII, 2018.

DADOS BIOGRÁFICOS



Natalia Pimentel Lado Ces
 Graduação: Fortaleza, 2018. Universidade Federal do Ceará