



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MARCUS VINÍCIUS BEZERRA MEDEIROS

**ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA EM
CONDOMÍNIOS DE BAIXA RENDA**

Campina Grande - PB

Agosto de 2018

MARCUS VINÍCIUS BEZERRA MEDEIROS

**ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA EM
CONDOMÍNIOS DE BAIXA RENDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em En-
genharia Elétrica da Universidade Federal de
Campina Grande, Campus Campina Grande,
como parte dos requisitos necessários para a ob-
tenção do grau de Bacharel em Engenharia Elé-
trica.

Área de Concentração: Sistemas Elétricos de Potência

Orientadora: Nubia Silva Dantas Brito

Campina Grande - PB

Agosto de 2018

MARCUS VINÍCIUS BEZERRA MEDEIROS

**ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA EM
CÔNDOMÍNIOS DE BAIXA RENDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em En-
genharia Elétrica da Universidade Federal de
Campina Grande, Campus Campina Grande,
como parte dos requisitos necessários para a ob-
tenção do grau de Bacharel em Engenharia Elé-
trica.

Aprovado em ___ / ___ / ___

Benemar Alencar de Souza
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Nubia Silva Dantas Brito
Universidade Federal de Campina Grande
Orientadora

*Dedico este trabalho àqueles que sempre
me incentivaram os sonhos,
mas que a vida impediu de me ver realizá-los.*

AGRADECIMENTOS

É com imenso orgulho que concluo essa etapa em minha formação profissional. A satisfação pessoal em lidar com a superação a cada decisão é imensa. Vejo que todo o esforço que fiz valeu, e muito, a pena. Portanto, comemoro!

Agradeço, primeira e incondicionalmente, à minha família. A meus pais, Ana e Venício, por todo o apoio a mim concedido de forma exemplar. Aquele primeiro passo há quase uma década, cada dificuldade, saudade, viagem e mínima conquista foi possível por seus esforços. A meu irmão, Eduardo, por lembrar que podemos ser mais do que imaginamos e persistir sempre. Partilho com vocês essa vitória de igual maneira.

Aos familiares que dedicaram seu apoio ao longo destes anos. A distância e o suor nada significam quando os reencontro para um abraço e boa conversa, vendo nos seus sorrisos o orgulho daquilo que construímos.

Aos bons funcionários da UFCG, em especial o Departamento de Engenharia Elétrica pelo carinho e dedicação exemplares de Adail e Tchaikovsky. A Camila e Jonas, engenheiros da prefeitura universitária da UFCG, por todos os conselhos e colaboração nos projetos que colaboramos. Aos professores mentores e guias durante a graduação que me abriram tantas portas e guiaram meus passos e foram exemplo. Agradeço especialmente a minha orientadora, Núbia Silva Dantas Brito, por todo o apoio e paciência durante os anos de participação na graduação e incentivo no desenvolvimento de minhas pesquisas. Admiro sua capacidade como orientadora, seu tato em tudo aquilo que se propõe a fazer e sua sabedoria. Grande parte do que sou hoje tem sua influência e serei eternamente grato pela oportunidade dada.

Aos companheiros do Laboratório de Sistemas de Potência, com os quais pude desenvolver minhas habilidades de pesquisa. Agradeço aos parceiros da Empresa Júnior de Engenharia Elétrica, a Voltech Consultoria e Projetos Elétricos. A confiança de que devemos sempre batalhar pra criar nossas próprias oportunidades moldou grande parte do profissional que sou. Agradeço a todos os amigos de graduação, os quais foram de extrema importância para superar toda a desmotivação e dificuldade partilhando momentos no quiosque.

Agradeço a Viviane, minha namorada, por todo o amor, paciência e conselhos e que, tal qual minha família e amigos, compreende minhas ausências e me estimula a alçar vôos sempre mais altos.

Em especial, agradeço a Carolina, Arthur, Yuri e Rafael por me acolherem desde o primeiro momento em Campina Grande.

*“O desejo profundo da humanidade pelo conhecimento
é justificativa suficiente para nossa busca contínua.”*

- Stephen Hawking

RESUMO

Os investimentos na diversificação da matriz energética brasileira têm impulsionado o uso da geração distribuída no Brasil, em especial a do tipo fotovoltaica. Este trabalho insere-se nesse âmbito e discute um projeto autorizado pela Resolução Nº 4.385/2013 na cidade de Juazeiro/BA, que instalou equipamentos destinados à geração de energia elétrica a partir da luz solar nas unidades habitacionais do Programa Minha Casa, Minha Vida. O estudo realizado avaliou a contribuição para o cenário energético nacional, os impactos sociais decorrentes da implantação deste tipo de empreendimento em zonas habitacionais características de baixa renda e a influência no sistema elétrico de distribuição. A partir desta análise, avaliou-se o modelo de negócio dos pontos de vista técnico e social.

Palavras-chaves: Geração distribuída, projeto social, sistemas fotovoltaicos.

ABSTRACT

The investments in diversification of the Brazilian energy matrix have boosted the use of distributed generation in Brazil, especially the photovoltaic type. This work is part of this scope and discusses a project authorized by Resolution No. 4,385/2013 in the city of Juazeiro/BA, which installed equipment for the generation of electricity based on sunlight in the housing units of the Minha Casa, Minha Vida Program. This study evaluated its contribution to the national energy scenario, the social impacts arising directly and indirectly from the installation of this type of initiative and the influence on the distribution electrical system. From this analysis, the business model was evaluated from both technical and social points of view.

Key-words: Distributed generation, social project, photovoltaics systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Corrente elétrica em função da tensão aplicada em uma célula FV de silício sob condições-padrão de ensaio.	16
Figura 2 – Diferentes tipos de sistema de geração fotovoltaica.	17
Figura 3 – Adições anuais da potência fotovoltaica instalada mundial, 2007-2017.	18
Figura 4 – Capacidade instalada fotovoltaica, Top 10 Países, 2017.	19
Figura 5 – Vista aérea da região dos condomínios Praia do Rodeadouro e Morada do Salitre.	23
Figura 6 – Ilustração do modelo elétrico dos sistemas de geração e medição.	26
Figura 7 – Vista de aerogerador instalado nos condomínios.	26
Figura 8 – Dados da geração obtida ao longo do período de operação.	27
Figura 9 – Sistema teste IEEE 13 barras.	29
Figura 10 – Lombada construída nas ruas dos condomínios.	32
Figura 11 – Transição dos antigos quiosques para centrais comunitárias.	33
Figura 12 – Participação dos moradores em cursos de capacitação.	33
Figura 13 – Moradores capacitados instalando inversores.	34
Figura 14 – Moradores capacitados instalando módulos fotovoltaicos.	34
Figura 15 – Paineis avariados na cobertura de central comunitária.	35
Figura 16 – Importância da renda para a qualidade de vida das famílias.	36
Figura 17 – Importância da renda para a qualidade de vida da comunidade.	37
Figura 18 – Níveis de tensão da Fase A em cada barra.	38
Figura 19 – Níveis de tensão da Fase B em cada barra.	39
Figura 20 – Níveis de tensão da Fase C em cada barra.	40
Figura 21 – Fator de desequilíbrio de tensão em cada barra.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Mudanças nos planos energéticos fotovoltaicos da China para o ano de 2020.	20
Tabela 2 – Dados técnicos dos módulos fotovoltaicos do projeto.	25
Tabela 3 – Dados técnicos dos inversores do projeto.	25
Tabela 4 – Cargas do sistema de distribuição IEEE 13 barras.	30
Tabela 5 – Módulo fotovoltaico utilizado na modelagem do sistema de geração fotovoltaica.	30
Tabela 6 – Parâmetros do <i>Power Grid</i> implementado.	47
Tabela 7 – Características do transformador.	47
Tabela 8 – Características dos bancos de capacitores.	47
Tabela 9 – Características das linhas de distribuição - Instalação.	47
Tabela 10 – Características das linhas de distribuição - Comprimento e disposição.	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ACL	Ambiente de Contratação Livre
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PMCMV	Programa Minha Casa, Minha Vida
SCDE	Sistema de Coleta de Dados de Energia
SFCR	Sistemas fotovoltaicos conectados à rede
TSEE	Unidade Central de Coleta e Medição
UCM	Unidade Central de Coleta e Medição
V _n	Tensão nominal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	13
1.2	Motivação	13
1.3	Estrutura do trabalho	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	A tecnologia fotovoltaica	15
2.2	A Geração Distribuída	17
2.3	A geração fotovoltaica no mundo	18
2.4	A geração fotovoltaica no Brasil	21
3	PROJETO DE GERAÇÃO DE ENERGIA E RENDA EM JUAZEIRO/BA	23
3.1	O projeto	23
3.2	Equipamentos	24
3.3	Operação e aspectos normativos	26
4	METODOLOGIA	28
4.1	Análise social	28
4.2	Análise técnica	29
4.2.1	Sistema teste e simulações	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1	Análise social	32
5.2	Análise técnica	37
5.2.1	Perfil de tensão	38
5.2.2	Nível de desequilíbrio de tensão	40
6	CONCLUSÃO	42
6.1	Considerações finais	42
6.2	Trabalhos futuros	43
	REFERÊNCIAS	44
A	SISTEMA TESTE IEEE 13 BARRAS	47

1 INTRODUÇÃO

Nos tempos atuais, o termo ‘desenvolvimento sustentável’ tem sido dominante em fóruns que discutem o futuro da humanidade. Segundo o Relatório Brundtland, 1987, desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades da geração presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades (INBS, 2016). Nesse contexto, a pressão pela renovação das fontes geradoras é justificada pela combinação de conformidades e aspectos intrínsecos da relação oferta-demanda do setor elétrico. As constantes crises do mercado petrolífero e as decorrentes incertezas de sua disponibilidade repercutem no aumento do preço de combustíveis fósseis, elevando os gastos operacionais de usinas geradoras que os utilizam como alimentação. Paralelamente, as exigências das agências ambientais fazem com que as empresas do setor migrem para soluções mais ecológicas, reduzindo a construção de grandes centrais geradoras e linhas de transmissão, a desapropriação de terras e emissão de gases de efeito estufa.

Em resposta a este cenário, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) tem incentivado o desenvolvimento de fontes alternativas de geração, especialmente as do tipo renovável, de modo a elevar o potencial energético do país, minimizando os impactos gerados em sua ampliação. Estas têm suas relevâncias potencializadas pela associação à Geração Distribuída (GD) que, diferentemente da geração centralizada, entrega a energia muito mais próximo do centro de consumo, dispensando longas linhas de transmissão.

Dentre as várias fontes de energia renováveis, a energia proveniente do Sol é sem dúvida, uma das mais importantes, sendo que diversas formas de energia são geradas por influência direta desta, além de todos os organismos vivos dependerem de sua atividade para realização de suas funções vitais. Uma dessas formas é a denominada ‘energia fotovoltaica’, que possibilita a obtenção de uma energia limpa através da conversão da irradiação solar (CRESESB, 2004) Mesmo tardiamente, o Brasil começou a inserir a geração fotovoltaica em sua matriz energética. A associação da tecnologia à geração distribuída urbana ganha destaque ao observarmos a quantidade de telhados disponíveis nestas zonas, principalmente residenciais. Países como a Alemanha tomam vantagem desse tipo de topologia, sendo um exemplo de sua viabilidade.

Ao analisarmos a curva de demanda energética de uma zona urbana mista, notamos um consumo significativo durante o dia. A presença de edificações residenciais, comerciais e de serviço disponibiliza uma grande área de cobertura que pode ser utilizada para instalação de painéis fotovoltaicos, aproveitando este potencial energético. Neste cenário, considerando uma política de incentivo à geração, a instalação de sistemas fotovoltaicos pode ser difundida. Em especial, conjuntos habitacionais residenciais possuem grande potencial, podendo ser vistos como centrais minigeradoras solares.

Um dos empreendimentos que vêm sendo realizados pelo governo brasileiro tem sido o aproveitamento dos telhados das construções urbanas para instalação de unidades geradoras fotovoltaicas. Através de ações como o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), lançado em 2009, a quantidade de unidades residenciais tem sido expressiva. O programa está atualmente na fase 3, com expectativas de entregar mais de 4,6 milhões de unidades residenciais (SIENGE, 2017). Além disso, é possível favorecer famílias de menor renda, como por exemplo, no Programa de Geração de Renda e Energia em Juazeiro-BA, instalado nos condomínios Praia do Salitre e Morada do Rodeadouro, resultados do PMCMV. Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresenta um estudo de caso desse empreendimento.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi analisar os impactos técnico-sociais da integração de sistemas de geração distribuída fotovoltaica em condomínios do Programa Minha Casa, Minha Vida, com objetivos específicos:

- Estudar as contribuições de sociais do projeto nos âmbitos familiar e comunitário;
- Implementar em um *software* o modelo de geração fotovoltaica inserida em um sistema-teste para cálculo do fluxo de potência, analisando o perfil e o desequilíbrio de tensão.

1.2 Motivação

A diversificação da matriz energética nacional tem demonstrado perfil cada vez mais forte. É natural imaginarmos que, em um futuro próximo, os sistemas de distribuição urbanos tenham grande penetração da geração distribuída, em especial a fotovoltaica. Logo, o estudo dos impactos técnicos de sua inserção com relação à operação da rede é importante a fim de prevermos seu comportamento em diferentes cenários. Contudo, é importante destacar que, ao utilizar telhados das residências, este tipo de geração tem maior influência no convívio social. Deve-se levar em conta que estudos de engenharia não devem negligenciar os aspectos comunitários passíveis de sua interferência. Desse modo, a análise puramente técnica mostra-se insuficiente quando da mensuração das consequências desta nova topologia. Faz-se necessário, portanto, considerarmos os fatores socioeconômicos de sua implementação.

1.3 Estrutura do trabalho

A monografia está dividida em seis capítulos. No primeiro foi realizada uma introdução aos temas estudados de modo a apresentar ao leitor principais aspectos e motivações do trabalho dentro do contexto observado.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica da evolução histórica da tecnologia fotovoltaica no Brasil e no mundo, introduzindo os principais tópicos de seus princípios, inserindo-a no contexto da geração distribuída.

No Capítulo 3 é apresentado o projeto sobre o qual o estudo de caso foi desenvolvido. Explana-se sobre sua origem, principais características técnicas do sistema instalado e um breve histórico de seu funcionamento.

No capítulo 4 são apresentados os procedimentos metodológicos para a execução dos estudos propostos, descrevendo os cenários escolhidos e o método de análise utilizada em conjunto com a ferramenta computacional aplicada.

No capítulo 5 são apresentados e discutidos os resultados obtidos ao final da aplicação da metodologia de estudo social e técnico do caso.

No Capítulo 6 são feitas as considerações finais do trabalho, também sugerindo estudos futuros para maior desenvolvimento do modelo de empreendimento envolvendo diferentes cenários.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Apresenta-se neste capítulo um resumo da revisão bibliográfica dos temas relacionados com o objetivo do trabalho. Inicialmente apresentam-se as informações gerais sobre a tecnologia fotovoltaica e geração distribuída. Um panorama mundial e nacional da geração fotovoltaica dão continuidade à exposição.

2.1 A tecnologia fotovoltaica

A energia solar é virtualmente inesgotável em nossa escala de tempo. Portanto, é uma das mais promissoras fontes de geração de eletricidade, além de ser a base para todas as outras fontes de energia em nosso planeta (CRESESB, 2004). De maneira simplista, uma célula solar é um dispositivo eletrônico capaz de converter energia luminosa em energia elétrica, cujas características elétricas, tais como corrente, tensão e resistência variam conforme sua exposição à luz, mantendo um fluxo de elétrons em um circuito elétrico enquanto houver incidência (NASCIMENTO, 2004). O módulo fotovoltaico (FV) é uma unidade básica formada por um conjunto de células fotovoltaicas, interligadas eletricamente e encapsuladas com o objetivo de gerar energia elétrica (ABNT, 2013).

O fenômeno de conversão fotovoltaica foi primeiramente observado por Alexandre-Edmond Becquerel, em 1839, ao perceber que uma solução com eletrodos metálicos tinha sua condutividade elevada ao ser exposta à luz. Apesar disso, a eficiência era extremamente reduzida (SOLENERGY, 2016). O avanço da indústria de semicondutores culminou, em 1954, na reunião anual da *National Academy of Sciences*, em Washington. Na ocasião foi revelada pela *Bell Labs* a primeira célula solar, com eficiência de 6% e potência de 5 mW (VALLÊRA; BRITO, 2006).

Na década de 70, sua implantação começou a se diversificar passando a ser utilizada como fonte complementar em navios, ferrovias e sistemas de telecomunicação, bem como na redução do custo de produção industrial. A partir da década de 80, diversos países introduziram-na como alimentação de pequenas residências em regiões isoladas, normalmente rurais, o que tornou mais popular seu uso civil. Com a chegada da década de 90 e o alcance de melhores rendimentos e menores preços das células, a tecnologia foi se popularizando (CÂMARA, 2011).

Buscando o crescente desenvolvimento da tecnologia, novos materiais são explorados constantemente, porém o principal material aplicado no processo fabril das células FV é o silício (Si), altamente abundante (CEMIG, 2012). A partir deste material podem ser produzidos três tipos de células. O primeiro deles, o monocristalino (m-Si) é obtido a partir da estruturação molecular uniforme da matéria prima (CASTRO, 2002). Presente na maioria dos equipamentos

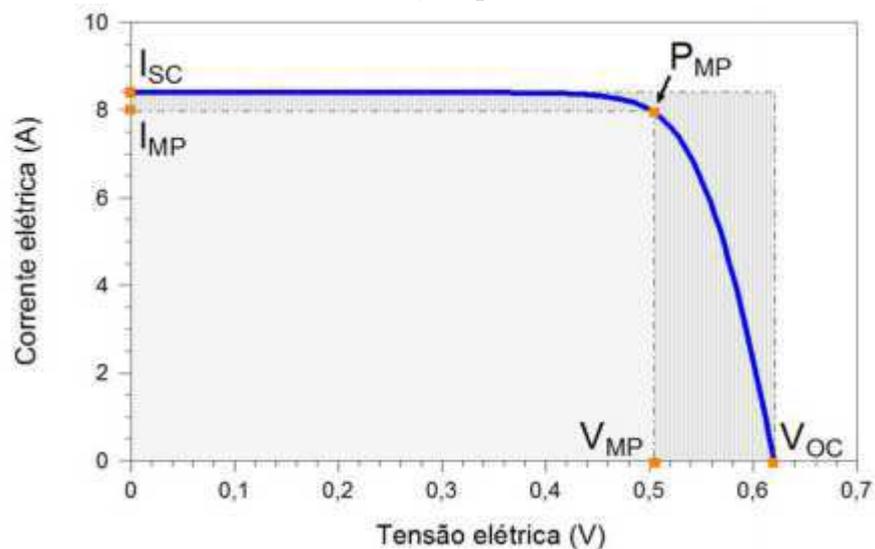
do mercado, sua eficiência pode chegar a 23% (FRAUNHOFER, 2015).

O segundo grupo tem como base o silício policristalino (p-Si), obtido através de fusão na qual se formam múltiplos cristais. Seu custo de produção é mais baixo, porém ocupa maior área e possui eficiência ligeiramente menor em comparação com as células monocristalinas (CASTRO, 2002).

O terceiro grupo é o de silício amorfo (a-Si), diferenciando-se dos anteriores por não possuir estrutura cristalina. O material é obtido através da adição de hidrogênio à composição, sendo um processo mais barato até mesmo do que o do silício policristalino (CASTRO, 2002). Sua eficiência gira é de aproximadamente 7%, porém pode ser depositado sobre diversos tipos de substrato (FRAUNHOFER, 2015).

Podemos observar na Figura 1 a curva I-V típica de uma célula de silício, destacando o ponto de máxima potência gerada P_{mp} .

Figura 1 – Corrente elétrica em função da tensão aplicada em uma célula FV de silício sob condições-padrão de ensaio.



Fonte: CRESESB (2004).

Existem também módulos FV baseados células orgânicas, poliméricas, de telureto de cádmio (CdTe) e na composição de cobre, índio e gálio seleneto (CIS/CIGS), além de tecnologias híbridas de geração, nas quais não se aplica somente células FV (CRESESB, 2004).

Segundo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB) os blocos básicos de um sistema fotovoltaico são:

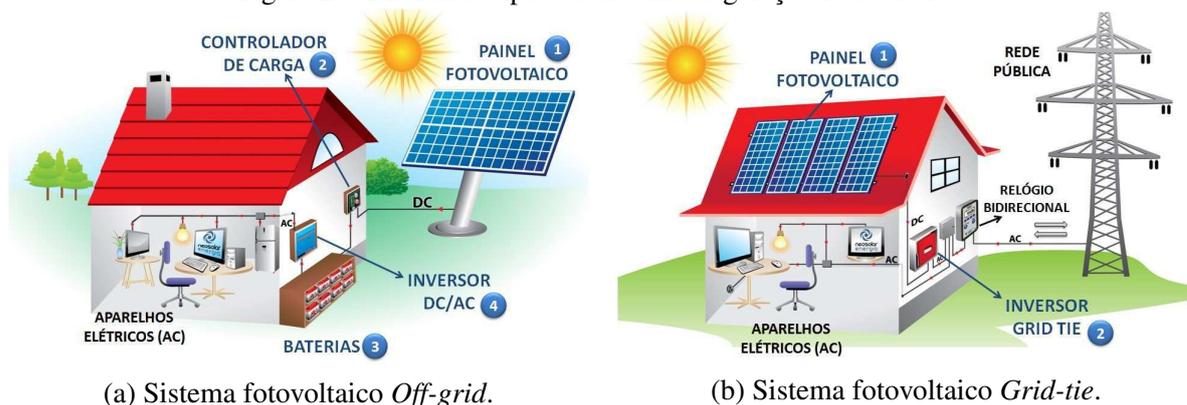
- Bloco gerador: painéis solares, cabos e estrutura de suporte;
- Bloco de equipamentos de controle e condicionamento de potência: inversores e controladores de carga;
- Bloco de armazenamento: baterias.

Em relação ao tipo de conexão, são classificados em isolados (*Off-grid*) e conectados à rede (*Grid-tie*). Os sistemas isolados (ver Figura 2a) são comumente utilizados em locais

remotos, onde o custo para se conectar à rede elétrica é elevado, ou em aplicações autônomas, como barcos ou carros elétricos. Neste tipo de sistema é necessário o armazenamento utilizando baterias estacionárias.

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) (ver Figura 2b) são os mais comuns, provendo maior disponibilidade de potência ao sistema, não sendo obrigatoriamente necessário o uso de baterias (NEOSOLAR, 2015).

Figura 2 – Diferentes tipos de sistema de geração fotovoltaica.



(a) Sistema fotovoltaico *Off-grid*.

(b) Sistema fotovoltaico *Grid-tie*.

Fonte: NEOSOLAR (2015).

2.2 A Geração Distribuída

A Geração Distribuída, a qual ganha cada vez mais notoriedade, diferencia-se do modelo de geração centralizada à medida em que a entrega da energia está localizada muito mais próxima dos grandes centros de consumo. Desse modo, não são necessárias longas linhas de transmissão e distribuição e os impactos decorrentes da construção de grandes parques geradores são mitigados.

O Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) define GD como sendo a expressão utilizada para designar a geração realizada junto ou próxima dos consumidores, independentemente da potência, tecnologia e fonte. Logo, sua aplicabilidade não está vinculada somente a uma tecnologia, podendo ser utilizadas até mesmo fontes não renováveis (INEE, 2008).

Com a crescente pressão social por maior equilíbrio ambiental na operação do sistema elétrico, o setor energético tende à desverticalizar e descentralizar a geração (BRAUNGRABOLLE, 2010). Fatores como os altos custos de novas centrais geradoras, impactos ambientais, além do esgotamento das fontes primárias, como as reservas hídricas, evidenciam a importância da geração distribuída para a estabilidade operacional do sistema elétrico em geral. Assim, diversos países estão investindo intensamente na utilização desta topologia, ao invés de construir novos sistemas de transmissão e distribuição (ACKERMANN, 2007).

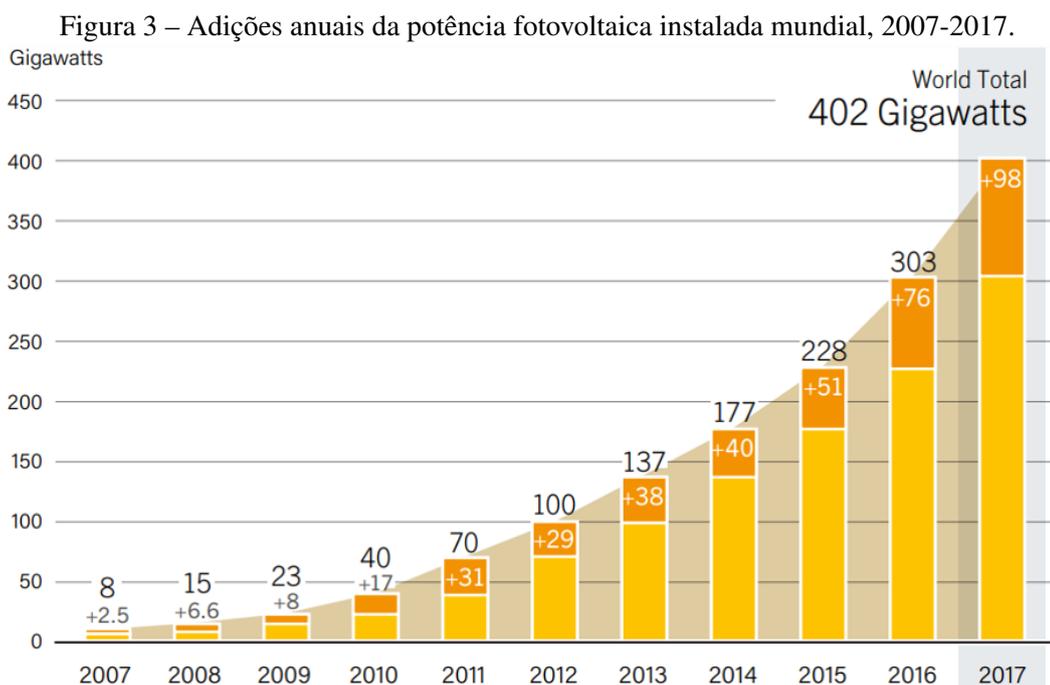
Desse modo, considerando um cenário onde a geração está conectada diretamente ao próprio sistema de distribuição, o aumento gradativo de GD exigirá maior controle dos opera-

dores do sistema elétrico, uma vez que em sua maioria não pode ser considerada despachável. A conexão tem diversos efeitos como desequilíbrios, sobretensões, harmônicos, entre outros. Contudo, a potência injetada pode contribuir positivamente para o perfil de tensão e estabilidade do sistema, elevando a qualidade e confiabilidade do fornecimento energético aos consumidores finais.

2.3 A geração fotovoltaica no mundo

A matriz energética mundial possui na sua estrutura diversas fontes não renováveis de energia, dentre elas destaca-se neste trabalho a energia solar, que se caracteriza por ser não poluente, silenciosa, gratuita e abundante.

Segundo o *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* (2018), no ano de 2016, pelo menos 98 GW de capacidade instalada fotovoltaica foi adicionada no mundo, chegando ao total de 402 GW. Seu desenvolvimento ao longo dos últimos dez anos está representado na Figura 3.

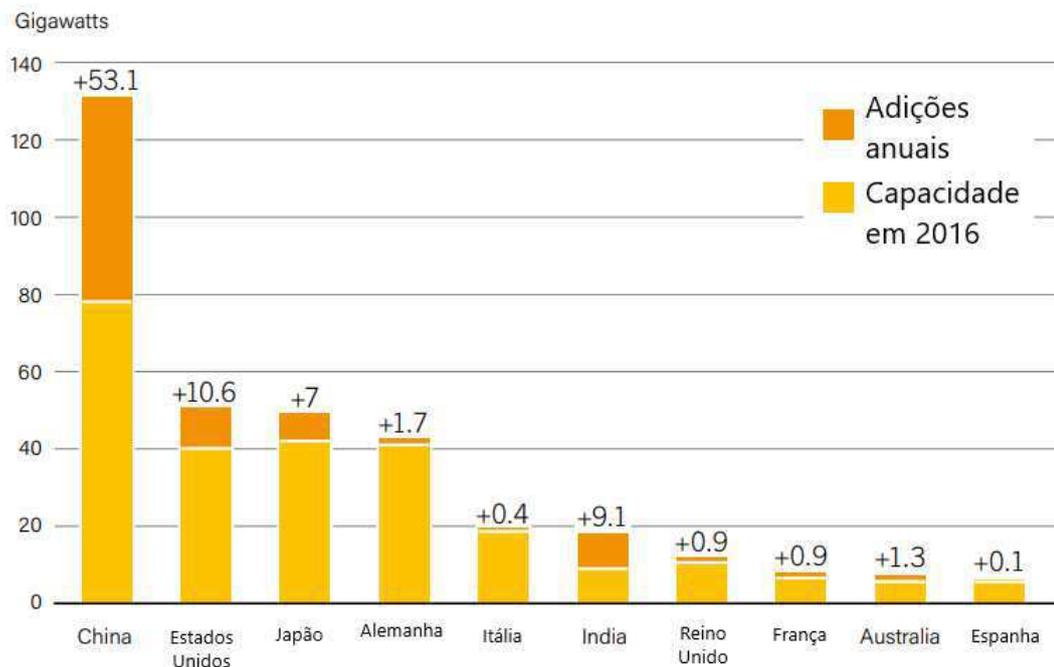


Fonte: REN21 (2018).

A larga expansão do segmento se deve ao aumento da competitividade da tecnologia juntamente com a crescente demanda por energia elétrica de países em desenvolvimento, ao passo em que intensifica-se a atratividade da tecnologia fotovoltaica por seu potencial de redução de emissão de CO₂ e prover amplo acesso à eletricidade por meio da geração distribuída (REN21, 2018). Os cinco maiores mercados - China, Estados Unidos, Índia, Japão e Turquia - foram responsáveis por aproximadamente 84% das novas instalações, sendo seguidos por Ale-

manha, Austrália, Coréia do Sul, Reino Unido e Brasil (IEA, 2018). O histórico do *ranking* por capacidade instalada atualmente está ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Capacidade instalada fotovoltaica, Top 10 Países, 2017.



Fonte: REN21 (2018).

Apesar da imensa concentração de geração em um pequeno grupo de países, novos mercados estão emergindo e países de todos os continentes têm contribuído significativamente para a expansão global. No final do ano de 2017, cada continente possuía ao menos 29 países com 1 GW ou mais de potência instalada, sendo os líderes de potência instalada *per capita* Alemanha, Japão, Bélgica, Itália e Austrália (IEA, 2018).

Os Estados Unidos permanecem como segundo colocado no *ranking* mundial, acrescentando 10,6 GW em 2017, somando o total de 51 GW (IEA, 2018). Pelo segundo ano consecutivo, a geração fotovoltaica liderou os avanços da energia renovável no país, atendendo em diversos estados mais de 10% de sua demanda energética (REN21, 2018). De modo geral, o mercado americano teve redução de cerca de 30% em comparação com o ano de 2016 em decorrência de atrasos de conexão, lentidão no amadurecimento de mercados como a Califórnia, aumento dos preços dos equipamentos assim como aspectos políticos. Somente o setor comercial teve crescimento em relação ao último ano - aproximadamente 28% (GTM/SEIA, 2018).

Em relação à Alemanha, comparada ao Brasil, a região mais ensolarada do país recebe um índice de radiação solar equivalente a 40% da radiação da região menos ensolarada do Brasil. Portanto, do ponto de vista de recursos naturais, não é o país mais propício para explorar esse tipo de energia. Entretanto, a combinação de regulamentação prudente e amplo apoio público para renováveis fez do país um líder improvável no movimento mundial de energia

limpa, evidenciando a eficiência da utilização desta tecnologia pelo país. A Lei Federal de Abastecimento Elétrico adotada no ano de 1991 obrigou serviços públicos a comprarem energia gerada por fontes renováveis a uma taxa fixada anualmente.

Atualmente, a Alemanha possui regras para instalação de painéis fotovoltaicos que facilitam sua implantação em telhados residenciais e comerciais (IEA, 2017). O país continua liderando o mercado europeu, seguida pelo Reino Unido, França e Holanda. O país concluiu 2017 com um total de 42,4 GW instalados, tendo acrescido 1,7 GW - abaixo da meta governamental de 2,5 GW para o período (IEA, 2018). Como a geração FV está reduzindo sensivelmente a demanda de eletricidade do meio-dia e preço associado ao pico, usinas a gás não constituem mais um investimento rentável (FRAUNHOFER, 2015). O país tem investido em sistemas com armazenamento: cerca de 50% dos sistemas residenciais instalados combinavam baterias, contra 14% no ano de 2014 (REN21, 2018).

No ano de 2017, pela primeira vez, a tecnologia fotovoltaica assumiu a posição de fonte primária da matriz energética da China. Em 2016, o governo anunciou o *Renewable Energy and Solar 13th Five-Year*, redefinindo a meta de instalação fotovoltaica para 2020 de 150 GW para 105 GW. Essa redução é justificada pelo fato de que os 45 GW são essencialmente o alvo de centrais geradoras - valor já ultrapassado, uma vez que o país contava, ao fim de 2016, com 67 GW em suas usinas solares (APRICUM, 2017). Por outro lado, o plano prevê para os próximos anos um crescimento de 50 GW em geração distribuída fotovoltaica. A Tabela 1 traz a comparação das metas do plano após a mudança.

Tabela 1 – Mudanças nos planos energéticos fotovoltaicos da China para o ano de 2020.

	Antiga meta para 2020 (GW)	Nova meta para 2020 (GW)	Capacidade instalada em 2016 (GW)	Déficit (GW)
Centrais geradoras	80	45	67,1	Excedido
Geração distribuída	70	60	10,3	50
Total	150	105	77,4	27,6

Fonte: APRICUM (2017).

Com a adição de 53,1 GW no último ano, superando o total mundial do ano de 2015 (51 GW), a marca foi ultrapassada e o país conta hoje com mais de 131 GW (NEA, 2018). Por representar metade da demanda e manufatura mundial, o desenvolvimento do setor na China tem forte impacto em todo o globo. Segundo APRICUM (2017), o setor chinês tem ganhado cada vez maior notoriedade por conta de três principais programas governamentais:

- Plano de construção padrão FiT (*Feed-in-Tariff*)(*Standard FiT “Build Plan”*), que torna as tarifas mais uniformes ao longo do ano para geradoras centralizadas e distribuídas, com cotas definidas por província;

- O programa Top Runner, que abre licitações anuais para projetos que usam módulos de alta eficiência e tecnologias avançadas;
- Programa de redução da pobreza, cujos projetos são obrigados a dedicar parte dos lucros em prol social. O objetivo é suprir com o equivalente a US\$ 435/ano a renda de 2 milhões de famílias pobres em 35.000 vilarejos, especificamente pessoas impossibilitadas de trabalhar e/ou deficientes físicos. Isto será atingido através da concessão de sistemas fotovoltaicos individuais ou da partilha da renda obtida pela geração das instalações designadas a determinado grupo de famílias.

Em especial, o último projeto governamental tem grande potencial para potencializar a geração de energia elétrica através da tecnologia fotovoltaica como negócio social, o qual foi objeto de estudo deste trabalho.

2.4 A geração fotovoltaica no Brasil

Seguindo a tendência mundial, o Brasil tem reestruturado sua matriz, assim como os setores do mercado energético, da geração à distribuição. O marco inicial foi a importação no final da década de 70 de módulos fotovoltaicos fabricados nos Estados Unidos para alimentar sistemas de telecomunicações. A fim de atender às necessidades de demanda em locais isolados não atendidos pela rede elétrica, foi criado o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM). Os módulos utilizados neste projeto eram adquiridos pelo Governo Federal e repassados aos usuários de forma gratuita. Apesar do avanço obtido, o programa apresentou falhas como o benefício exclusivo da tecnologia fotovoltaica. Em 2002, foi criado o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), incorporado logo depois ao Luz para Todos.

O país ganhou destaque no setor após uma legislação baseada no *net-metering* americano ser adotada. O governo estabeleceu a meta de 3,5 GW até o ano de 2023, estimulando o rápido crescimento do setor com novos projetos sendo anunciados para os próximos anos. Outro ponto importante é que os equipamentos fotovoltaicos foram isentos de taxas de importação.

À medida em que os preços dos sistemas fotovoltaicos foram caindo, a ANEEL passou a dar mais atenção ao setor. Em agosto de 2011, tornou pública a Chamada N° 013/2011, que estabeleceu medidas de apoio às pesquisas de desenvolvimento no setor, regulamentando diversos pontos, como monitoração e instalação de sistemas fotovoltaicos. Como resultado, somente em 2011, 86% da potência instalada até então ocorreu naquele ano (ANEEL, 2011).

Em 2012, a Resolução N° 482/2012 (ANEEL, 2012b) estabeleceu um sistema de compensação de energia, o qual foi definido como sendo um arranjo em que os consumidores com micro geração ou mini geração podem injetar energia ativa na rede de distribuição. A resolução foi então atualizada pela Resolução Normativa N° 687/2015, passando a energia gerada pelo consumidor a abater a energia consumida proveniente da distribuidora e, nos casos em que o

saldo for positivo, os créditos têm validade por 60 meses, podendo também ser utilizada em outra unidade consumidora do mesmo titular (que possua o mesmo CPF ou CNPJ, junto ao Ministério da Fazenda) e que esteja dentro da mesma área de concessão da unidade geradora (ANEEL, 2015).

A partir da aprovação da Resolução Normativa nº 687 (ANEEL, 2015) foi possível a geração compartilhada, onde vários interessados podem unir-se em consórcio ou cooperativa para instalação de um sistema de geração, podendo ser instalado em condomínios e conjuntos residenciais. A resolução define que os consumidores sejam classificados em micro e minigeradores distribuídos, possuindo limite de 75 kW e 5 MW, respectivamente.

Atualmente, existem 2231 usinas fotovoltaicas no Brasil, resultando em mais de 1,3 GW de capacidade instalada. Apesar disso, o valor representa 0,7781% da matriz energética nacional (ANEEL, 2018a). Diversos acordos foram desenvolvidos ao longo dos últimos anos para que o país obtenha mais autonomia no setor, com destaque para o acordo feito entre o governo do estado do Rio Grande do Norte com a Chint Eletrics Co. para fabricação de painéis em território potiguar (BRASIL, 2018).

Apesar dos avanços, infelizmente, o uso da geração fotovoltaica no Brasil ainda está em fase incipiente. Em comparação com a Alemanha, a região menos ensolarada do Brasil apresenta índices solares em torno de 1642 kWh/m², os quais estão acima dos valores apresentados na área de maior incidência solar alemã, que recebe cerca de 1300 kWh/m². Portanto, fica evidente que o potencial nacional não tem sido aproveitado devidamente (SALAMONI; RÜTHER, 2007).

3 PROJETO DE GERAÇÃO DE ENERGIA E RENDA EM JUAZEIRO/BA

Apresenta-se neste capítulo estudo de caso realizado, o qual figura entre as iniciativas do Governo Federal para aumentar a participação da geração fotovoltaica na sua matriz energética nos últimos anos. Todas as informações descritas neste capítulo baseam-se no estudo da Resolução Autorizativa Nº 4.385/2013 da ANEEL e nos documentos das empresas responsáveis pelo empreendimento.

3.1 O projeto

Fruto da parceria entre a empresa Brasil Solair Energias Renováveis Comércio e Indústria S/A e o Fundo Socioambiental da Caixa Econômica Federal - FSA Caixa, o projeto piloto foi o primeiro do tipo em todo o país a associar condomínios do PMCMV através da propriedade comunitária de ativos de microgeração fotovoltaica. A parceria investiu R\$ 7.291.294,19, dos quais R\$ 6,2 milhões foram financiados pela estatal (ANEEL, 2016). Uma captura de satélite da região dos condomínios é apresentada na Fig. 5.

Figura 5 – Vista aérea da região dos condomínios Praia do Rodeadouro e Morada do Salitre.



Fonte: Google Mapas (2018).

Oficialmente, a solicitação de abertura do processo que deu origem ao projeto se deu no dia 15 de outubro de 2012, pedindo autorização para um sistema de medição especial para o intitulado “Projeto de Geração de Energia Solar nos Condomínios Praia do Rodeadouro e

Morada do Salitre, em Juazeiro-BA". Segundo relatório da Brasil Solair (ANEEL, 2016), a escolha do local foi devida ao potencial solar e à baixa renda familiar da região, localizada em uma área de extrema pobreza do país. O objetivo principal foi a implantação de geração de renda baseada na energia elétrica renovável, a partir da instalação de microgeração distribuída solar, de modo que fossem aproveitados os telhados das 500 unidades habitacionais de cada um dos empreendimentos, beneficiando 1.000 famílias com renda na faixa de 0 a 3 salários mínimos ou de meio salário mínimo *per capita*.

O projeto pretendia ser um modelo demonstrativo para a implantação de uma política pública em maior escala, podendo ser replicado em outros conjuntos do PMCMV. Além da geração de renda, outro objetivo seria promover a organização social das famílias beneficiadas, incentivando a cooperação e o avanço de outros projetos e ações intra e extracomunitárias (ANEEL, 2012a).

Considerando que as famílias atendidas fazem parte da Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE), o regime de compensação da geração e consumo estabelecido pela Resolução Normativa 482/2012 seria inviável pelo baixo custo de oportunidade obtido. Portanto, a energia gerada abasteceria somente as áreas de uso comum (quiosques e quadra de esporte), sendo o montante restante vendido para um comprador, podendo ser a própria concessionária ou um consumidor livre no âmbito do Ambiente de Contratação Livre (ACL), da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Desse modo, a própria Caixa, além de gestora dos recursos do programa, poderia também se tornar compradora da energia (ANEEL, 2012a).

A autorização se deu em 2013, com a Resolução Autorizativa N° 4.385, estabelecendo a operação e a conexão ao sistema de baixa tensão da Coelba (concessionária local) por um período de 36 meses, contados a partir do dia 22 de outubro de 2013, data da publicação. A restrição temporal vem do caráter extra-normativo da topologia do projeto, sendo a empresa responsável obrigada a buscar a devida adequação às normas da ANEEL dentro do prazo estipulado para manter sua posterior operação. Contudo, o início da operação só veio a ocorrer no dia 04/02/2014 (ANEEL, 2016).

3.2 Equipamentos

Segundo dados da ANEEL (2017), o país possuía na época cerca de 1,9 MW de potência instalada na forma de geração distribuída fotovoltaica, distribuídos entre residencial, comercial e industrial. Assim, nota-se a importância do projeto para o cenário da geração fotovoltaica nacional, quando foi instalada nos tetos das residências 2,1 MWp, dividida entre os condomínios Praia do Rodeadouro e Morada do Salitre. Foram utilizados um total de 9.144 módulos de 230 Wp. Os dados técnicos disponibilizados pelo fabricante estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados técnicos dos módulos fotovoltaicos do projeto.

Máxima potência - Pmax (Wp)	230±3%
Máxima tensão - Vmp (V)	29,6
Máxima corrente - Imp (A)	7,78
Tensão de circuito - aberto - Voc (V)	6,8
Corrente de curto circuito - Isc (A)	8,35
Eficiência do módulo (%)	14,05
Dimensões (LxAxP) (mm)	992 x 1650 x 50
Tensão de isolamento (Vcc)	1000
Coefficiente de temperatura de Pmax	-0,45%/°C
Coefficiente de temperatura de Voc	-0,27%/°C
Coefficiente de temperatura de Isc	-0,05%/°C
Temperatura de operação da célula (°C)	45±2

Fonte: ANEEL (2012a).

No total são 514 sistemas de microgeração, os quais utilizam inversores CC/CA monofásicos de 4 kW, conectando dois *strings* conectados à rede da concessionária. Os principais dados técnicos dos inversores estão dispostos na Tabela 3 (ANEEL, 2012a).

Tabela 3 – Dados técnicos dos inversores do projeto.

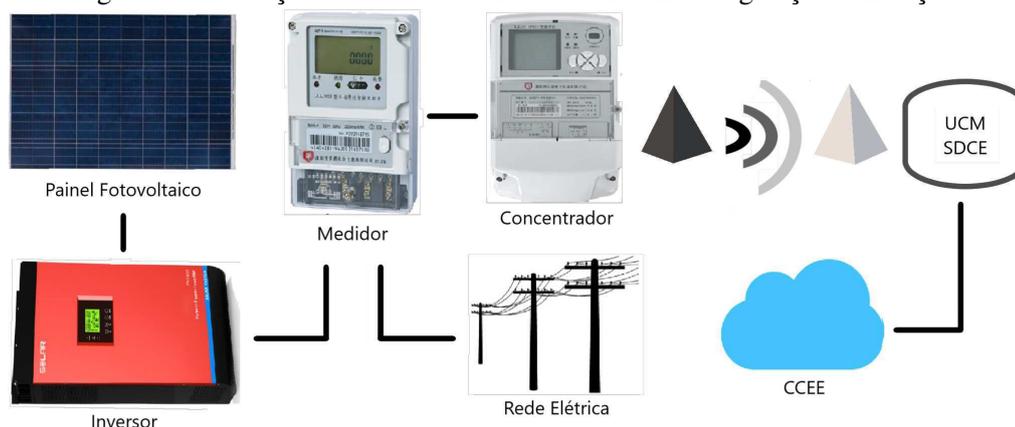
Entrada de tensão (V)	120 - 530
Máxima potência (W)	4200
Máxima corrente CC (A)	21
Tensão de saída (V)	220
Máxima corrente CA	20
Frequência (Hz)	60
Taxa de distorção harmônica (%)	<3

Fonte: ANEEL (2012a).

O sistema de medição e comunicação projetado monitora e coleta os dados da geração de energia. Foram utilizados medidores monofásicos bidirecionais individualizados para cada inversor. Os dados primários são então coletados periodicamente (mínimo de 37 dias) por concentradores via comunicação PLC (*Power Line Communication*) ou por rádio frequência, acumulando em memória de massa para no mínimo 90 dias. Foram utilizados 2 concentradores por condomínio, acessando remotamente 127 medidores. Os dados são então transmitidos para uma unidade remota via GSM/GPRS, agrupando-os e simulando uma medição trifásica em uma Unidade Central de Coleta e Medição (UCM), na qual um Sistema de Coleta de Dados de Energia (SCDE) gera e transmite o arquivo XML para a coleta da CCEE via *web* (ANEEL, 2012a). Um modelo simplificado da topologia do sistema é apresentado na Figura 6.

Também foram instalados quatro aerogeradores para operar em regime de compensação *net metering* no que preconiza a Resolução Normativa 482/2012 nas áreas comuns, com um total de 27 kWp (ver Figura 7) (ANEEL, 2012a).

Figura 6 – Ilustração do modelo elétrico dos sistemas de geração e medição.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 7 – Vista de aerogerador instalado nos condomínios.



Fonte: Autoria própria (2017).

3.3 Operação e aspectos normativos

Segundo Cunha et al. (2017), o projeto atenderia à função social e transformaria as residências em unidades geradoras, além de auxiliar na redução das emissões de gases de efeito estufa, resultando em um projeto sustentável. Neste sentido, o pedido de medição especial visava permitir a comercialização da energia total gerada pelo sistema fotovoltaico para consumidores livres, no âmbito da CCEE. Assim, além de gestora dos recursos financeiros do programa, a Caixa Econômica Federal poderia se tornar compradora da eletricidade gerada pelos condomínios, enquadrando-se no perfil de consumidor livre.

Considerando a necessidade da implantação de um trabalho social junto aos beneficiários, os responsáveis pelo empreendimento capacitaram as lideranças comunitárias quanto à gestão dos recursos. A divisão da renda obtida a partir da venda da eletricidade gerada foi estabelecida em assembleia e incorporada ao regimento interno dos condomínios. Da receita

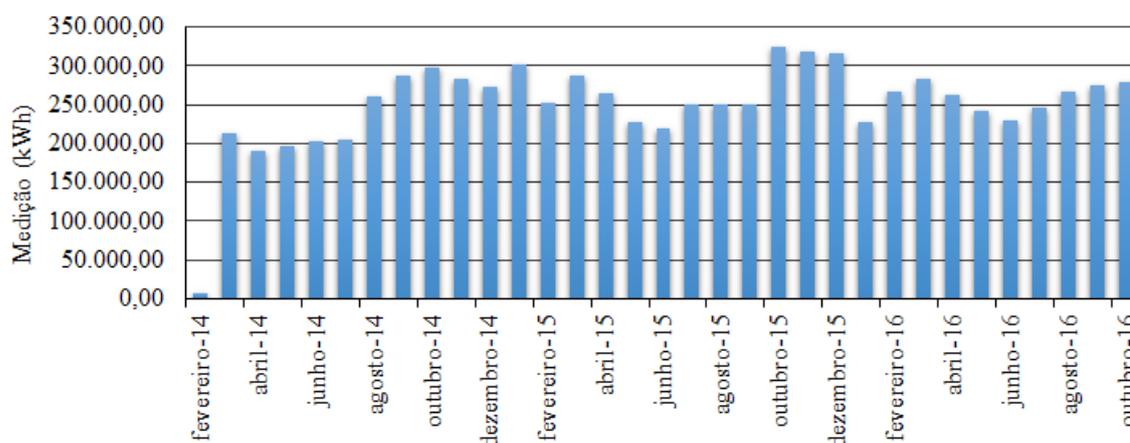
total gerada mensalmente, 60% eram destinadas aos moradores, 30% para o fundo de investimentos para melhorias e uso comum e 10% para pagamento das despesas de manutenção dos condomínios.

Todos os dados da gestão energética do projeto eram de responsabilidade da própria Brasil Solair, coletados por meio de medidores monofásicos individuais, conectados à rede de distribuição de baixa tensão da concessionária. Foram instalados também, concentradores de dados a fim de efetuar a coleta das informações gravadas nos medidores, para posterior tratamento e inserção no SCDE (Sistema de Coleta de Dados de Energia) da CCEE. A eletricidade gerada foi comercializada pela empresa no Ambiente de Contratação Livre (ACL) por meio de contratos bilaterais (ANEEL, 2016).

Conforme o Art. 4º da Resolução Autorizativa Nº 4.385 (ANEEL, 2013), o projeto deveria adequar-se à regulamentação vigente ao término do prazo de 36 meses, o que infelizmente, não ocorreu. A Brasil Solair tentou recorrentemente, o prolongamento do período de autorização do projeto pela ANEEL, que por sua vez não considerou as justificativas cabíveis para os pedidos de postergação. Dessa forma, o projeto foi desativado e não comercializa a eletricidade gerada desde novembro de 2016 (ANEEL, 2016).

Segundo a Resolução Normativa Nº 687 (ANEEL, 2015), o projeto configurava-se como sendo uma unidade de minigeração distribuída, com capacidade de geração mensal média de cerca de 260 MWh. Como se vê na Figura 4, os primeiros meses de operação do projeto resultaram em níveis muito abaixo do esperado e a causa pode ter sido os vários problemas decorrentes do processo de conexão do sistema à rede. Durante toda a sua operação foram gerados mais de 8 GWh, produzindo um faturamento de R\$ 3.131.065,80 (ANEEL, 2016). Os dados de geração obtidos no período compreendido entre a inauguração e a desativação do projeto são apresentados na Figura 8.

Figura 8 – Dados da geração obtida ao longo do período de operação.



Fonte: ANEEL (2016).

4 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os procedimentos adotados para a execução dos estudos propostos por este trabalho.

4.1 Análise social

O método adotado para o estudo referente às questões comunitárias consistiu de duas etapas. A primeira delas, realizada previamente, foi o estudo do empreendimento utilizando os relatórios e documentos oficiais elaborados pela empresa responsável. A etapa seguinte foi a realização de uma visita técnica ao local, realizada na data de 22 de setembro de 2017, que teve como objetivos:

- Verificar *in loco* o *status* do projeto;
- Averiguar as informações descritas nos relatórios oficiais da empresa responsável à ANEEL;
- Realizar entrevistas com líderes sindicais;
- Obtenção de dados através da aplicação de questionários aos moradores.

A pesquisa de campo e o questionário foram planejados tendo como base a teoria da pesquisa quantitativo-qualitativa. No âmbito das Ciências Sociais, a abordagem qualitativa dedica-se aos significados das ações e relações humanas, algo que não pode ser captado através de equações, médias e estatísticas. Já a abordagem quantitativa traduz matematicamente indicadores relevantes para a pesquisa. Desse modo, ambos complementam-se para a obtenção de uma visão mais completa do estudo (MINAYO, 2001).

Considerando a quantidade de moradores, adotou-se uma amostragem de 10% do total, resultando em 100 famílias entrevistadas. Os objetivos do questionário em questão foram avaliar:

- Quantidade de moradores por família;
- Nível de empregabilidade da comunidade;
- Tempo de moradia;
- Participação nas assembleias;
- Conhecimento da tecnologia fotovoltaica;
- Engajamento dos projetos financiados pela renda gerada;
- Importância da receita obtida à nível comunitário e familiar.

Aplicados os questionários, foi possível obter o perfil comportamental da população, tanto do ponto de vista do projeto quanto do desenvolvimento social.

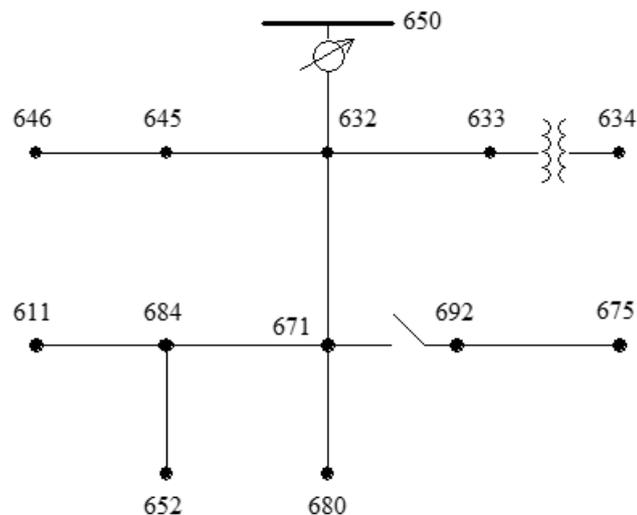
4.2 Análise técnica

De modo a avaliar a influência do tipo de empreendimento objeto do estudo do ponto de vista técnico, o método adotado teve como objetivo analisar os impactos no perfil de tensão em regime permanente da inserção de geração distribuída fotovoltaica no sistema elétrico de distribuição.

4.2.1 Sistema teste e simulações

O sistema teste de distribuição aplicado neste trabalho baseou-se em um sistema amplamente conhecido na literatura técnica, o IEEE 13 barras. Este modelo foi escolhido com o objetivo de servir como base para a inserção de GD fotovoltaica semelhante à instalação do projeto de Geração de Energia e Renda. Apesar de seu tamanho reduzido, fornece um bom teste para o estudo em questão. O modelo possui trechos monofásicos, bifásicos e trifásicos, sendo bastante desbalanceado. A topologia do sistema é apresentada na Figura 9.

Figura 9 – Sistema teste IEEE 13 barras.



Fonte: IEEE-PES (1992).

Para a realização dos cálculos foi adotado um *software* que possui o ferramental necessário para o estudo de fluxo de potência desbalanceado, aplicando o método da injeção de corrente, o qual não terá seu procedimento descrito neste trabalho. O *software* possui em sua biblioteca o modelo do IEEE 13 barras com algumas adaptações, a exemplo da ausência do regulador de tensão. Aqui adota-se um *Power Grid* que simula este trecho. O sistema passa a ter 12 barras, sendo a 632 considerada como balanço. As informações da modelagem do sistema teste podem ser encontradas no Anexo A. Os dados referentes às cargas do sistema são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Cargas do sistema de distribuição IEEE 13 barras.

Barra	Tipo	Pot. ativa Fase A (kW)	Pot. reativa Fase A (kvar)	Pot. ativa Fase B (kW)	Pot. reativa Fase B (kvar)	Pot. ativa Fase C (kW)	Pot. reativa Fase C (kvar)
611	Z	-	-	-	-	170	-20
632	PQ	80	50	33	19	59	34
634	PQ	160	110	120	90	120	90
645	PQ	-	-	170	125	0	0
646	Z	-	-	115	66	115	66
652	Z	128	86	-	-	-	-
671	PQ	393	225	418	239	443	254
675	PQ	485	-10	68	-140	290	12
692	I	0	0	0	0	170	151

Fonte: Adaptado de IEEE-PES (1992).

Para a modelagem do sistema de geração solar utilizou-se sua ferramenta nativa de criação de *arrays* FV do programa adotado, capaz de modelar painéis e inversores a partir de sua biblioteca. Os dados do módulo utilizado são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Módulo fotovoltaico utilizado na modelagem do sistema de geração fotovoltaica.

Potência (W)	238,2
Tensão de máxima potência (V)	31,1
Corrente de máxima potência (A)	7,66
Tensão de circuito aberto (V)	37,59
Corrente de circuito aberto (A)	8,31
Tipo	Policristalino

Fonte: Adaptado da simulação.

Os dados de incidência e energia gerada são obtidos a partir da inserção da localização geográfica dos condomínios Praia do Rodeadouro e Morada do Salitre, na cidade de Juazeiro/BA, com latitude 09° 24' 42"S e longitude 40° 29' 55"W. A geração fotovoltaica foi projetada com topologia constituída por 500 *arrays* de 18 módulos cada, resultando na potência instalada de 2144 kW, sendo o inversor modelado para tensão e corrente de entrada de 559,8 Vdc e 3830 Adc, respectivamente. Esses valores são, obviamente, somente considerados à nível de estudo, uma vez que, na prática, o número de inversores é bem maior, a exemplo do próprio sistema do Projeto de Geração de Energia e Renda em Juazeiro - BA.

No estudo de caso foram consideradas situações com e sem a conexão de GD, tratando a operação do sistema de geração solar com fator de potência unitário, ou seja, com injeção apenas de potência ativa. Conforme a Tabela 4, a demanda total de potência ativa do sistema é de 3537 kW, portanto a GD tem penetração de 60,6% da carga total.

Para aproximar a modelagem ao sistema real, a geração fotovoltaica foi considerada trifásica, sendo, contudo, ligada diretamente à rede de média tensão. Por essa razão, a geração fotovoltaica foi instalada nas barras trifásicas, podendo ser considerada como uma usina

solar com conexão em média tensão em um único ponto da rede elétrica. Para as simulações consideram-se controladas as potências geradas e consumidas com carga máxima, variando o ponto de conexão da geração nas barras 632, por ser a barra de balanço, e 671 e 675, por serem as barras de maior carga conectada.

A partir da execução da ferramenta de cálculo do fluxo de potência desbalanceado, as análises destacadas seguem os pontos:

- Perfil de tensão em regime permanente;
- Nível de desequilíbrio de tensão.

Os parâmetros para avaliação das características de tensão de operação do sistema estão de acordo com o módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). Com relação às tensões à nível de distribuição, define-se que a tensão nominal de operação deve situar-se entre 95% e 105% da tensão nominal de operação do sistema, sendo a variação de 2% considerada como limite marginal (ANEEL, 2018b).

Ainda segundo o PRODIST, o desequilíbrio de tensão é dado pela diferença entre as amplitudes e/ou defasagem entre as tensões de fase de um mesmo sistema, de modo que a expressão para seu cálculo pode ser dada por:

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} * 100 \quad (4.1)$$

Sendo:

- $FD\%$ - Fator de desequilíbrio de tensão em porcentagem;
- V_- - Módulo da tensão de sequência negativa;
- V_+ - Módulo da tensão de sequência positiva.

O limite estabelecido pela norma para o intervalo de $1 \text{ kV} < V_n < 230 \text{ kV}$ é de 2%, sendo V_n a tensão de linha nominal do sistema.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados e as análises pertinentes.

5.1 Análise social

Dos moradores, 55% eram residentes do Morada do Salitre, enquanto 45% eram do Praia do Rodeadouro, de modo que foi possível obter uma amostragem relativamente uniforme dos condomínios. Na ocasião da entrevista, as administrações e centrais comunitárias dos condomínios trabalham de maneira independente, sendo interligados pelo Projeto de Geração de Energia e Renda. As decisões relativas aos direcionamentos da receita do fundo de investimento eram discutidas conjuntamente em assembleia geral constituída pelas duas síndicas, do conselho fiscal e moradores.

Ao observarmos os aspectos comunitários, são muitos os benefícios decorrentes do projeto. Foram instalados pontos de ônibus na área dos condomínios, até então inexistentes. O contato com a prefeitura municipal possibilitou a criação de uma nova linha interligando a região ao centro da cidade, trazendo maior acessibilidade, conforto e segurança aos moradores. Além disso, foram custeadas sinalização e lombadas em diversos trechos onde haviam registros de acidentes de trânsito, o que reduziu substancialmente o número de ocorrências e contribuiu para o bem-estar local.

Figura 10 – Lombada construída nas ruas dos condomínios.



Fonte: Acervo comunitário (2016).

Nos quiosques, antigos pontos de consumo de drogas, foram construídos dois centros comunitários no ano de 2015 (ver Figura 11). Estes espaços, consistindo de ambientes como

salão geral, biblioteca, sala de informática, copa-cozinha e administração, passaram a proporcionar um espaço de saudável convívio social, além de abrigarem as assembleias que até então eram realizadas na quadra de esportes.

Figura 11 – Transição dos antigos quiosques para centrais comunitárias.



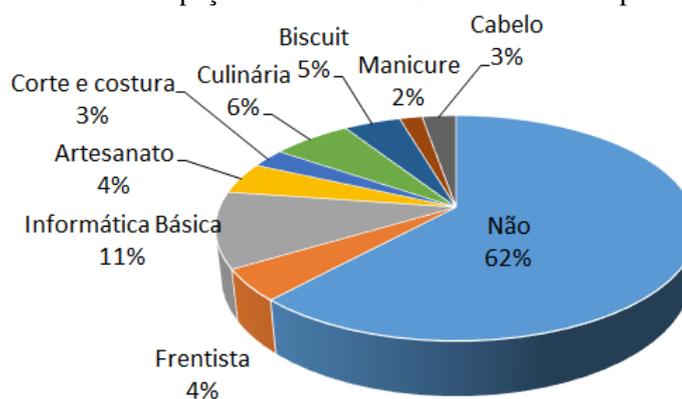
(a) Quiosque antes da reforma.

(b) Central comunitária após reforma.

Fonte: Acervo comunitário (2016).

As centrais comunitárias permitiram também a realização de diversos cursos de capacitação gratuitos para os moradores, tais como frentista, artesanato, culinária, manicure e corte e costura. Pode-se ver na Figura 12 que a maioria dos moradores não participou, tanto pela quantidade reduzida de vagas em comparação com o número de moradores, quanto pelo interesse pessoal. Os jovens e crianças foram beneficiados com a contratação de professores para atividades lúdicas, educativas e recreativas. Foram criadas turmas de informática e reforço escolar, além de dança e esportes como capoeira e judô.

Figura 12 – Participação dos moradores em cursos de capacitação.

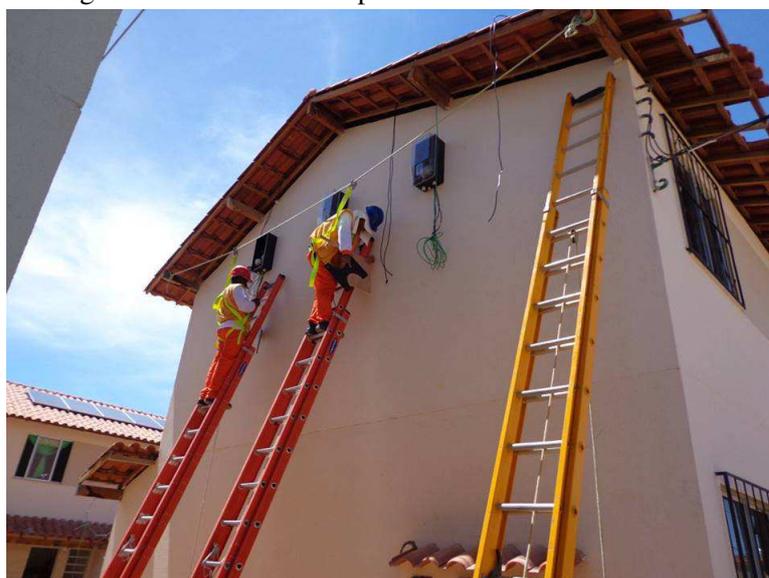


Fonte: Autoria própria (2017).

Com relação à remuneração pertencente a cada família, o valor obtido era significativo, observando a faixa de renda dos moradores locais. Considerando o faturamento do projeto durante o período de operação, o valor médio foi de R\$ 58,70, o qual permitia cobrir as próprias parcelas do PMCMV. Desse modo, os moradores puderam custear parte de suas próprias casas e mesmo complementar a renda, uma vez que não há taxa condominial.

O projeto possibilitou também a geração de empregos diretos e indiretos. A Brasil Solair se responsabilizou pela capacitação e treinamento de mão-de-obra local para trabalhar na instalação e manutenção do sistema de geração fotovoltaico (ver Figuras 13 e 14). Cerca de 60 moradores participaram desse processo, tornando-se colaboradores da empresa. O treinamento consistiu da abordagem dos fundamentos de sistemas fotovoltaicos, atendimento às Normas Regulamentadoras como 10 e 12, além de noções de gestão empresarial e de equipes. É importante observar que mais de 60% dos participantes eram do sexo feminino, tendo, portanto, relevância quanto à questão de igualdade de gênero na comunidade.

Figura 13 – Moradores capacitados instalando inversores.



Fonte: Acervo comunitário (2016).

Figura 14 – Moradores capacitados instalando módulos fotovoltaicos.



Fonte: Acervo comunitário (2016).

Durante toda a operação, poucos foram os casos relatados de vandalismo, segundo a administração. Durante a visita técnica puderam ser observadas algumas placas avariadas na

cobertura das centrais comunitárias (ver Figura 15), localizadas ao lado das quadras de esportes. Segundo as síndicas responsáveis, as placas foram atingidas intencionalmente por pedras. Esse problema poderia ser contornado estimulando o senso de pertencimento das instalações ao conjunto habitacional, noção que ficou abalada após a desativação do projeto e consequente corte da renda.

Figura 15 – Paineis avariados na cobertura na cobertura de central comunitária.



Fonte: Aatoria própria (2017).

Do ponto de vista socio-econômico, a empregabilidade da comunidade é baixa, com cerca de 40% dos entrevistados desempregados na época. O índice torna-se preocupante ao observarmos que cerca de 55% das residências possuíam ao menos 5 pessoas. Para os condomínios, considerando o salário à época de R\$ 880,00 e a faixa na qual se enquadram no PMCMV, a renda *per capita* domiciliar dessa parcela majoritária era de cerca de R\$ 528,00, rendimento que figura bem abaixo do observado para o restante do país e mesmo do estado - segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), a renda *per capita* média nacional no ano de 2016 foi de R\$ 1.226,00, enquanto que o valor médio para o estado da Bahia era de R\$ 773,00.

A pesquisa revelou que o nível de engajamento comunitário é elevado. Dos entrevistados, 73% afirma participar de todas as assembleias gerais de tomada de decisão, julgando ser importante estar presente ativamente. Apesar disso, os conflitos entre alguns moradores e as líderes sindicais é comum.

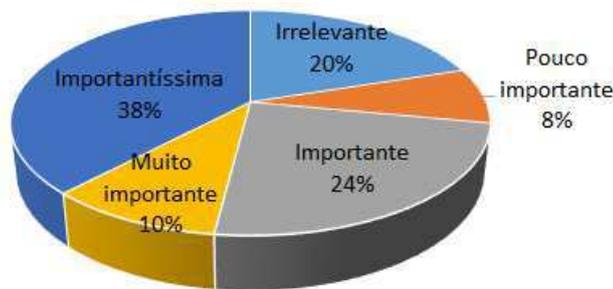
Houveram acusações de desvio de verba por parte dos representantes administrativos, intensificadas após a desativação do projeto. Tais ocorrências são resultantes principalmente da falta de informação por parte da comunidade com relação ao funcionamento do projeto do ponto de vista legal. Assim, conclui-se que o acompanhamento e divulgação do negócio por parte das empresas responsáveis foi insuficiente, tendo limitado-se somente ao que concerne a tecnologia de geração e deixando de lado os aspectos legislativos e comerciais. Uma melhor

compreensão das razões que levaram o projeto a ser desativado poderia contribuir positivamente para o equilíbrio social entre os condôminos.

Retomando o ponto da divulgação do projeto pelas responsáveis aos condomínios, a pesquisa apontou a ineficiência na absorção dos conhecimentos teóricos por parte da maioria da população. Cerca de 75% dos entrevistados diz ter muito pouco conhecimento do funcionamento do sistema de geração fotovoltaico. Alguns moradores imaginam, inclusive, que a presença dos painéis em seus telhados pode ser prejudicial à saúde, o que agrava o quadro de rejeição da tecnologia que, quando não mais lhes é uma fonte de renda, seria perigosa, motivando vandalismo. Portanto, é crucial a realização de ações ostensivas para difundir os fundamentos da tecnologia, de modo a desmistificar a construção negativa ao seu redor.

Quando questionados sobre a importância do projeto para a qualidade de vida das famílias, cerca de um quarto dos entrevistados mostraram-se insatisfeitos (ver Figura 16). Este grupo, de maneira geral, alegou que o valor recebido era insignificante. A análise histórica do projeto mostrou que nos primeiros meses de operação a remuneração foi de aproximadamente R\$ 100,00, enquanto que nos meses subsequentes teve redução gradativa, chegando a beirar os R\$ 10,00. Nesse caso, não valeria a pena sequer deslocar-se até o centro da cidade para obter o valor, uma vez que o custo do trajeto seria equivalente. A causa das reduções foi a quebra de contrato com um consumidor livre negociado pela empresa, fato que, segundo os moradores, não foi anunciado.

Figura 16 – Importância da renda para a qualidade de vida das famílias.



Fonte: Autoria própria (2017).

A pesquisa revelou um fato social local preocupante: uma parcela significativa dos entrevistados mais desfavorecida é, via de regra, analfabeta, desempregada, arraigada em programas assistenciais e que considera a renda do projeto irrelevante, assim como o próprio sistema de geração solar. Apesar disso, 72% dos entrevistados foram favoráveis à reativação do projeto, podendo ser observado na maioria forte consciência comunitária e que, apesar do valor reduzido, a renda seria de grande importância tendo em vista a existência de famílias em situação de carência.

Ao serem questionados sobre o prejuízo gerado a nível coletivo, observa-se o sentimento de integração da comunidade (ver Figura 17). Dos entrevistados, 79% considera que o fim da

renda prejudicou consideravelmente as ações e atividades propostas pelos administradores e, conseqüentemente, a qualidade de vida dos condôminos, uma vez que já não estão disponíveis os serviços gratuitos prestados em suas centrais comunitárias. Apesar disso, 21% acredita não haver qualquer tipo de prejuízo com o fim do faturamento.

Figura 17 – Importância da renda para a qualidade de vida da comunidade.



Fonte: Autoria própria (2017).

Apesar da desconexão do sistema de geração fotovoltaica ter impossibilitado o comércio e o conseqüente faturamento, os painéis continuam gerando energia elétrica sem injetar na rede, sendo portanto totalmente desperdiçada em uma época na qual muito se fala em conservação, sustentabilidade e eficiência energética. A reconexão dos equipamentos seria a solução direta para mitigar o problema, sendo necessário readequar a instalação dentro do exigido pela ANEEL. A solução mais simples seria converter o projeto para o regime de compensação ou mesmo a instituição de um condomínio solar, regulamentados pela Resolução Normativa 687/2015. O grande entrave para a adequação do modelo dentro das normas vigentes é o elevado valor envolvido na troca dos medidores para o sistema *net metering*, estimado em cerca de R\$ 3,5 milhões (CUNHA et al., 2017), além do fato de que economicamente a compensação tendo como base a TSEE é inviável comparando o montante de energia gerada, uma vez que os créditos nunca seriam compensados.

Uma possibilidade poderia ser a criação de uma cooperativa formada por vários consumidores da região para compensação dos créditos gerados por meio de consumo remoto. Em último caso, a venda do sistema de geração, seja para a própria concessionária ou para uma empresa terceira com o conseqüente aluguel/arrendamento dos telhados das habitações pode permitir sua religação.

5.2 Análise técnica

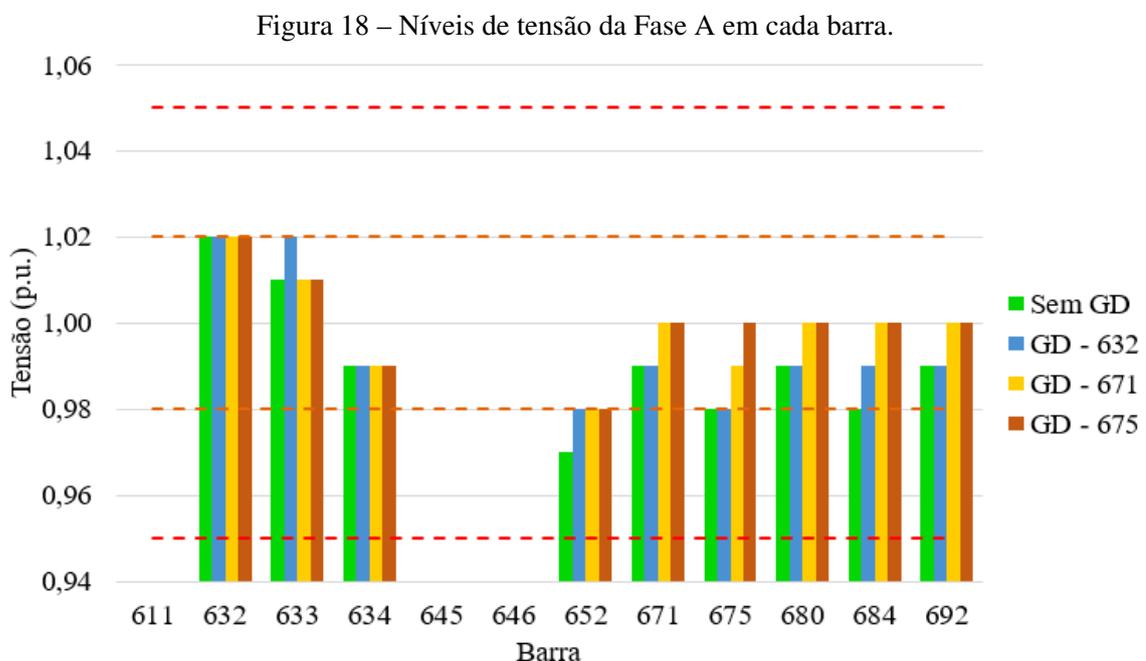
Executado o cálculo do fluxo de potência desbalanceado, foram obtidos os resultados para regime permanente dos cenários propostos. Cada cor representa o conjunto de resultados relativos a determinado ponto de conexão. As barras sem valores indicam que não há a fase

em questão no referido nó. Os limites aceitáveis dos parâmetros analisados são marcados nos gráficos em linhas tracejadas.

5.2.1 Perfil de tensão

Nas figuras podemos observar o comportamento da tensão em cada nó do sistema devido ao deslocamento do ponto de conexão da geração distribuída. Para a fase A (ver Figura 18), observou-se que o comportamento é positivo:

- Níveis de tensão para o sistema original com um mínimo de 0,97 p.u. na barra 652 e estando a barra 632 no limite marginal superior de operação. Isso pode ser explicado pelo fato de a barra 652 ser monofásica, logo, terá uma queda de tensão em razão de seu carregamento. Já a barra 632 está conectada diretamente ao *grid* de potência, sendo a barra de balanço do sistema;
- Os melhores pontos de conexão observados para a fase A foram as barras 671 e 675. Tal efeito pode ser justificado pelo fato de que essas barras possuem as maiores cargas da fase A, de modo que a geração mais próxima eleva o nível de tensão da barra, reduzindo o fluxo de potência entre o *Power Grid* e as mesmas;
- Notando que a barra 684 é bifásica CA, um nível de tensão mais estável das respectivas fases na barra 671 reflete em maior estabilidade subsequente.



Fonte: Autoria própria (2018).

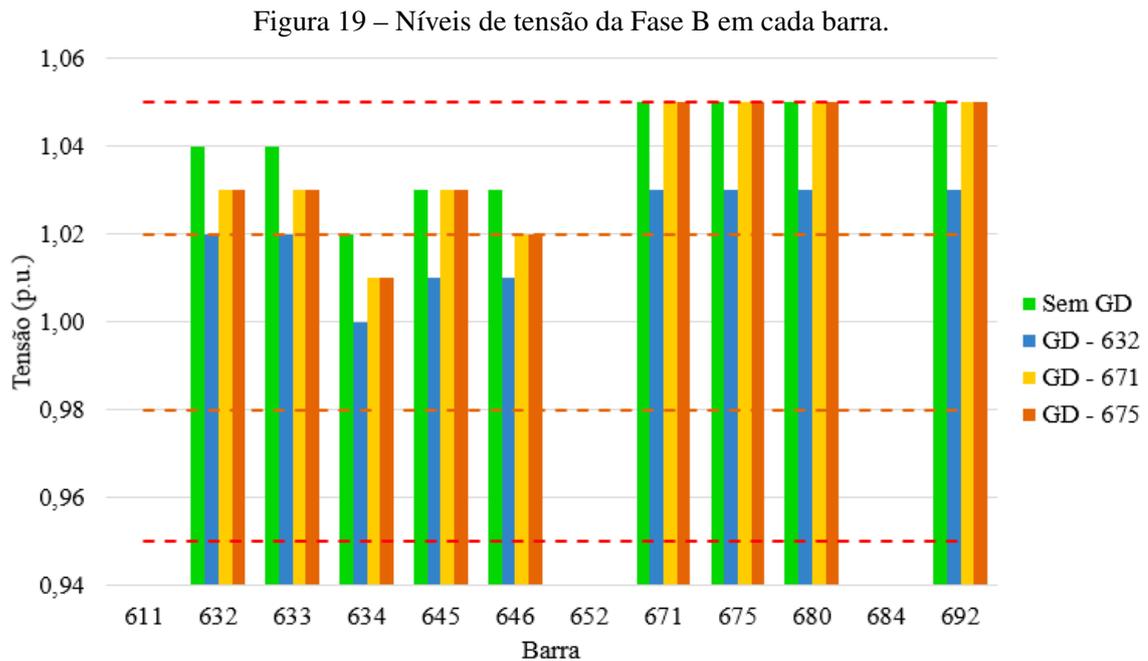
Para a fase B, existia um comportamento um pouco mais desequilibrado originalmente:

- Todas as barras do sistema original a possuem acima do valor nominal, variando de 1,02 p.u. a 1,05 p.u. Isso pode ser justificado pelo desequilíbrio das cargas do sistema para

a fase B. A barra 645, por exemplo, é bifásica, mas possui carga somente na fase B, enquanto a barra 675 possui carga fortemente capacitiva;

- O ponto de alocação da geração distribuída com melhores resultados foi a barra 632, a referência do sistema. Neste caso, os níveis de tensão da fase B em cada barra se encontram na faixa permitida pelo PRODIST, com um valor máximo de 1,03 p.u.

Os resultados desse caso estão dispostos na Figura 19.

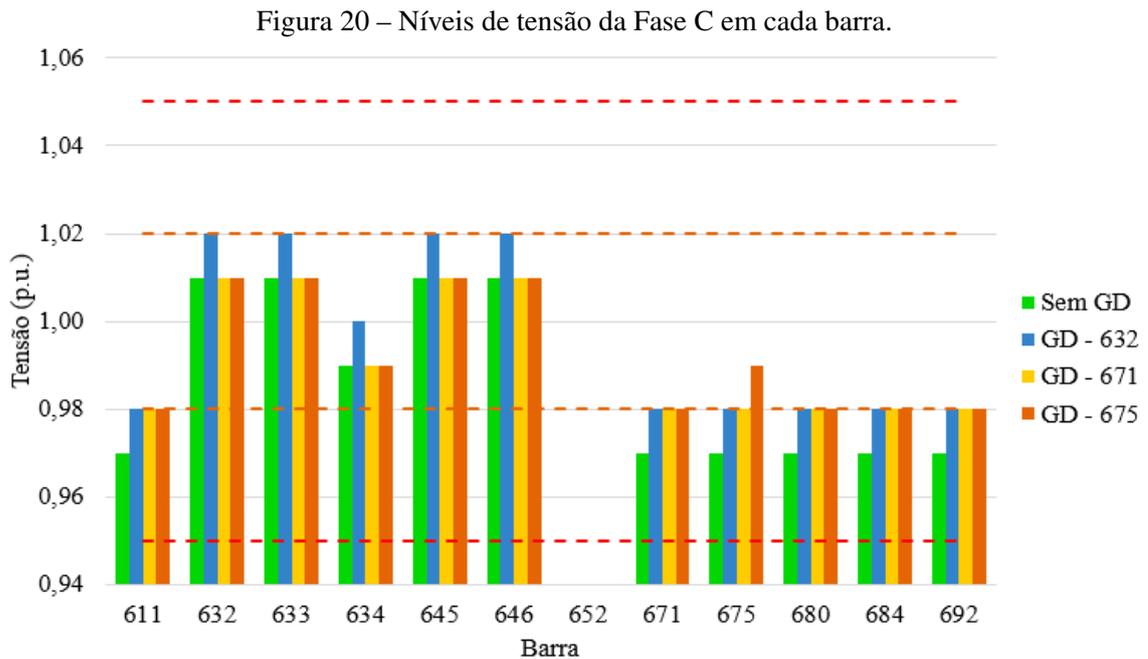


Fonte: Autoria própria (2018).

Para a fase C, foram obtidos os seguintes resultados:

- O sistema original possui os valores de operação entre 0,97 p.u. e 1,01 p.u.;
- Para a barra 611, sem GD, temos o mesmo caso de barra monofásica, com queda de tensão esperada pelo carregamento;
- A conexão na barra 632 eleva o nível de tensão da fase C em todas as barras, como esperado pelos casos anteriores, porém algumas barras chegam ao limite marginal superior de operação;
- A conexão nas barras 671 e 675 trazem os melhores níveis de tensão para a referida fase, ao passo em que a mesma passa a assumir valores entre 0,98 p.u. e 1,01 p.u.

Os resultados para a fase C estão dispostos na Figura 20.



Fonte: Autoria própria (2018).

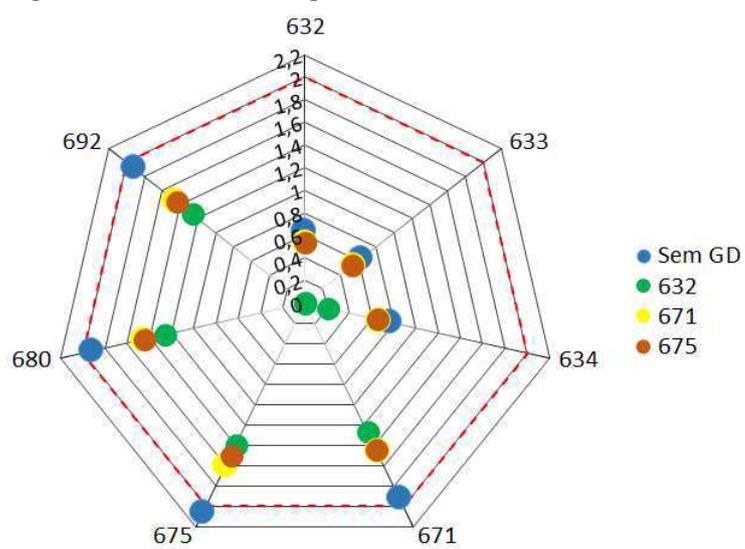
Levando em conta os resultados do perfil de tensão, vemos que as tensões A e C foram mais influenciadas positivamente pela geração fotovoltaica, elevando seus níveis de tensão em praticamente todas as barras do sistema. O mesmo não foi observado na fase B, em razão do desequilíbrio e a existência de cargas fortemente capacitivas. Contudo, foram obtidos os melhores resultados para o teste proposto a partir da conexão na barra 632.

5.2.2 Nível de desequilíbrio de tensão

O nível de desbalanço de tensão foi calculado segundo a equação 4.1 obtendo, portanto, o parâmetro somente para as barras trifásicas do sistema. Seguindo o PRODIST, o limite aceitável é de 2% exibido em conjunto com os resultados.

Os dados foram representados adaptando o gráfico radar, típico de sistemas multivariáveis, para demonstrar espacialmente o nível de desequilíbrio de tensão. O fator de desequilíbrio de cada barra será menor à medida em que se aproxima do centro. A partir da Figura 21, podemos observar que o sistema teste original possuía diversas barras muito próximas do limite de desequilíbrio permitido. Contudo, a barra 675 o supera, com 2,05%. A conexão da geração distribuída reduziu o nível de desbalanço de tensão em todo o sistema, independentemente do ponto escolhido. Este comportamento já era esperado, visto que é uma característica conhecida de sistemas com geração distribuída, nos quais as tensões tendem a se tornar mais estáveis. Observa-se que o ponto de melhor desempenho do ponto de vista do desbalanço de tensão é também a barra 632, na qual é possível chegar a níveis nulos de desequilíbrio.

Figura 21 – Fator de desequilíbrio de tensão em cada barra.



Fonte: Autoria própria (2018).

6 CONCLUSÃO

Neste capítulo são elaboradas as conclusões pertinentes em razão dos resultados obtidos, além de serem feitas as sugestões de continuidade da pesquisa.

6.1 Considerações finais

O cenário de geração distribuída está em claro desenvolvimento e popularização. Cada vez mais pessoas se interessam pela área e avaliam a adoção de sistemas para suas residências, o que certamente irá modificar a estrutura da matriz energética mundial em breve. Como vimos neste trabalho, a geração distribuída fotovoltaica tem sido uma das mais promissoras nesse contexto, apresentando crescimento expressivo nos últimos anos. Assim, o estudo do comportamento do sistema de distribuição, quando da inserção de níveis elevados de penetração fotovoltaica é de relevância tanto a nível acadêmico quanto profissional dos operadores e geradores do sistema de transmissão e distribuição elétrica. Uma pesquisa minuciosa foi realizada com o intuito de verificar o estado atual da tecnologia e os principais pontos a serem considerados no seu estudo.

Em função dos trabalhos encontrados na literatura e na mídia, este trabalho foi direcionado para um estudo mais abrangente: avaliar não somente a questão técnica, mas também a questão social da quebra de paradigma. Não considerar de que modo a comunidade poderia ser impactada por este tipo de revolução seria negligenciar um lado de importância vital no contexto que vivemos no setor energético. O Projeto de Geração de Energia e Renda na cidade de Juazeiro/BA representou um grande avanço para o Brasil no que diz respeito à difusão do conhecimento e aplicação da tecnologia.

De maneira geral, podemos concluir que o objetivo do trabalho foi obtido com êxito, tanto no quesito social quanto técnico. A possibilidade de se fazer um estudo de campo, mais próximo da sociedade, aproximando a universidade do cotidiano popular avaliando um problema real mostrou-se de grande valia. A visita técnica aos condomínios e a consequente troca de experiências com a gestão administrativa e os moradores em geral permitiu traçar os principais pontos positivos e negativos do empreendimento. Cabe ressaltar que os problemas observados pela pesquisa vão muito além da influência do sistema fotovoltaico, advindo de diversos outros fatores socioambientais e culturais.

O empreendimento foi construído sem ser pensado à longo prazo, ao contrário de exemplos fora do país, os quais podem ter anos de planejamento antes de sua execução. A ausência do faturamento da energia gerada pelos painéis no local ocasiona a perda do potencial energético, inutiliza todo o investimento feito nos equipamentos e impacta a qualidade de vida dos

moradores da região, que possuíam uma contribuição clara impulsionando a autonomia das famílias e da própria comunidade como entidade. A ANEEL decretou seu desligamento em razão das inconformidades com relação às normas vigentes e os responsáveis por sua construção não chegaram a uma solução quando da finalização deste trabalho. Apesar dos esforços e contribuições do autor com outros profissionais interessados pelo empreendimento, uma solução prática e viável não foi definida. Portanto, o projeto segue paralizado.

O projeto serviu de modelo para a criação de um novo padrão que deve ser aplicado pelo Governo Federal à nível nacional no PMCMV em suas próximas fases. De acordo com o Projeto de Lei do Senado 224/2015 em trâmite para votação, as residências do PMCMV passarão a possuir um sistema fotovoltaico de 2,1 kWp.

Do ponto de vista técnico, os resultados corroboram com o esperado para sistemas de distribuição com inserção de geração distribuída. A melhora no perfil de tensão e redução do desequilíbrio das fases mostra que a instalação é viável e benéfica para a qualidade da energia. A variação do ponto de conexão mostra que o sistema é dinâmico e cada caso deve ser avaliado criteriosamente a depender da conformidade, sendo o ponto de melhor desempenho escolhido também considerando o aspecto econômico.

6.2 Trabalhos futuros

Pela natureza ainda em desenvolvimento deste tipo de empreendimento, é importante que os esforços para seu aprimoramento sejam continuados. Dessa forma, para continuidade da pesquisa em trabalhos futuros, sugere-se:

- Realização de testes mais completos utilizando sistemas reais locais;
- Avaliação dos impactos técnicos no sistema de distribuição variando a potência instalada de modo a encontrar o nível de penetração de melhor desempenho;
- Análise da influência da geração distribuída fotovoltaica no nível das correntes de curto-circuito do sistema elétrico;
- Levantamento histórico mundial de projetos semelhantes, verificando os impactos sociais consequentes.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Energia solar fotovoltaica – terminologia. 2013. Citado na página 15.
- ACKERMANN, T. Distributed resources and re-regulated electricity markets. *Electric Power Systems Research*, 2007. Citado na página 17.
- ANEEL. Chamada no 013/2011 projeto estratégico: “arranjos técnicos e comerciais para inserção de geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira”. 2011. Citado na página 21.
- ANEEL. Processo n. 48500.005435/2012-88, volume 1, projeto de geração de energia solar nos condomínios praia do rodeadouro e morada do salitre em juazeiro - ba. 2012. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- ANEEL. Resolução normativa nº 482. 2012. Citado na página 21.
- ANEEL. Resolução normativa nº 4.385. 2013. Citado na página 27.
- ANEEL. Resolução normativa nº 687. 2015. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 27.
- ANEEL. Processo n. 48500.005435/2012-88, volume 2, projeto de geração de energia solar nos condomínios praia do rodeadouro e morada do salitre em juazeiro - ba. 2016. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 27.
- ANEEL. Matriz de energia elétrica. 2018. Citado na página 22.
- ANEEL. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - Módulo 8*. 2018. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-8>>. Acesso em: 10 jan. 2018. Citado na página 31.
- APRICUM. How chinese policies can control the global pv market. 2017. Citado na página 20.
- BRASIL. Obras da fábrica chinesa chint serão iniciadas no próximo semestre em extremoz. Disponível em: <http://extremoz.rn.gov.br/obras-da-fabrica-chinesa-chint-serao-iniciadas-no-proximo-semester-em-extremoz/>, 2018. Citado na página 22.
- BRAUN-GRABOLLE, P. A integração de sistemas solares fotovoltaicos em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana. 2010. Citado na página 17.
- CASTRO, R. M. G. Introdução à energia fotovoltaica. 2002. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.
- CEMIG. Alternativas energéticas: uma visão cemig. 2012. Citado na página 15.
- CRESESB. Centro de energia solar e eólica sérgio de salvo brito. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*, 2004. Citado 3 vezes nas páginas 12, 15 e 16.
- CUNHA, F. B. F. et al. Geração de renda e energia em juazeiro/bahia: contribuições da resolução aneel nº 4.385/2013 para inserção da energia solar na matriz brasileira. *X Congresso Brasileiro de Regulação, Florianópolis*, 2017. Citado na página 37.

- CÂMARA, C. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. 2011. Citado na página 15.
- FRAUNHOFER. Fraunhofer ise annual report 2015/16. 2015. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 20.
- GTM/SEIA. Solar market insight report 2017. 2018. Citado na página 19.
- IBGE. Instituto brasileiro de geografia e estatística. 2017. Citado na página 35.
- IEA. Pvp annual report 2016. 2017. Citado na página 20.
- IEA. Pvp annual report 2017. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- IEEE-PES. *Distribution Test Feeders*. 1992. Disponível em: <<https://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders/>>. Acesso em: 10 jan. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- INBS. Relatório brundtland “nosso futuro comum” – definição e princípios. 2016. Disponível em: <<<https://www.sienge.com.br/>>>. Citado na página 12.
- INEE. Instituto nacional de eficiência energética. 2008. Citado na página 17.
- MINAYO, M. C. Pesquisa social. teoria, método e criatividade. 2001. Citado na página 28.
- NASCIMENTO, c. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica. 2004. Citado na página 15.
- NEA. How chinese policies can control the global pv market. 2018. Citado na página 20.
- NEOSOLAR. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br>> Acesso ago. 2015., 2015. Citado na página 17.
- REN21. *Global Status Report*. 2018. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 20.
- SALAMONI, I.; RÜTHER, R. Potencial brasileiro da geração solar fotovoltaica conectada à rede elétrica: Análise de paridade de rede. *IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Ouro Preto*, 2007. Citado na página 22.
- SIENGE. Minha casa minha vida. 2017. Disponível em: <<<https://www.sienge.com.br/>>>. Acesso em: 17 fev. 2018. Citado na página 13.
- SOLENERGY. Edmond becquerel: The man behind solar panels. Disponível em: <http://solenergy.com.ph/solar-panel-philippines-edmond-becquerel/>, 2016. Citado na página 15.
- VALLÊRA, A. M.; BRITO, M. C. Meio século de história fotovoltaica. 2006. Citado na página 15.

ANEXOS

A SISTEMA TESTE IEEE 13 BARRAS

Neste apêndice serão expostos os parâmetros do sistema IEEE 13 barras que foram adotados durante as simulações.

Tabela 6 – Parâmetros do *Power Grid* implementado.

Tensão de base	4,16 kV
Potência de base	100 MVA
Potência de curto-circuito trifásico	71,072 MVA
Resistência de sequência positiva	48,1741%
Reatância de sequência positiva	132,198%
Resistência de sequência negativa	48,1741%
Reatância de sequência negativa	132,198%
Resistência de sequência zero	143,54%
Reatância de sequência zero	268,42%

Fonte: Adaptado de IEEE-PES (1992).

Tabela 7 – Características do transformador.

Transformador	Potência nominal (kVA)	Relação de tensão (kV)	Conexão	Reatância (%)
XFM-1	500	4,16:0,48	Y-Y	1,82

Fonte: Adaptado de IEEE-PES (1992).

Tabela 8 – Características dos bancos de capacitores.

Barra	Fase A (kVAr)	Fase B (kVAr)	Fase C (kVAr)
611			100
675	200	200	200

Fonte: Adaptado de IEEE-PES (1992).

Tabela 9 – Características das linhas de distribuição - Instalação.

Configuração	Trecho	Fases	Cabo de fases	Cabo do neutro	Geometria
601	Aéreo	ABCN	ACSR 556,500 26/7	ACSR 4/0 6/1	ID-500
602	Aéreo	ABCN	ACSR 4/0 6/1	ACSR 4/0 6/1	ID-500
603	Aéreo	BCN	ACSR 1/0	ACSR 1/0	ID-505
604	Aéreo	ACN	ACSR 1/0	ACSR 1/0	ID-505
605	Aéreo	CN	ACSR 1/0	ACSR 1/0	ID-510
606	Subterrâneo	ABCN	250,000 AA, CN		ID-515
607	Subterrâneo	AN	1/0 AA, TS	1/0 Cu	ID-520

Fonte: Adaptado de IEEE-PES (1992).

Tabela 10 – Características das linhas de distribuição - Comprimento e disposição.

Barra 1	Barra 2	Comprimento (pés)	Configuração
650	632	2000	601
632	671	2000	601
671	680	1000	601
632	633	500	602
632	645	500	603
645	646	300	603
671	675	500	606
671	684	300	604
684	611	300	605
684	652	800	607

Fonte: Adaptado de IEEE-PES (1992).